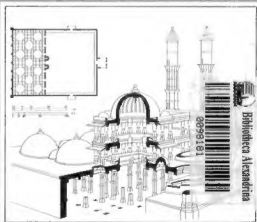
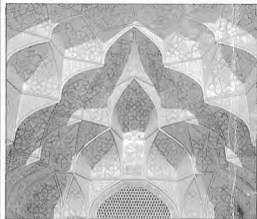


مختصر علوم الهندسية
الجزء الثاني

أَسَالِيْبُ إِنْشَاءِ
وَطَرَقِ التَّحْلِيلِ الْإِنْشَائِيِّ

إعداد المهندس المعماري

عبدنسيبكي



مختصر العلوم الهندسية

الجزء الثاني

أساليب الإنشاء

وطرق التحليل الإنشائي

- أساليب ومواد الإنشاء التقليدية .
- نظريات التوازن وأسس حساب مقاومة المواد .
- مفهوم الالتفصال وتحليل إجهادات القص .

أعداد المهندس

عبد محمد عدنان تنكيحي



حقوق الطبع محفوظة للناسر
الطبعة الاولى

١٩٨٨

سلسلة : مختصر الملوام الهندسية (٢)

الكتاب : أساليب الإنشاء وطرق التحليل الإنشائي

اعداد : المهندس عماد عدنان تنيكجي

الطابع : مطبعة الشام

عدد الطبع : ٢٠٠٠ نسخة

الناسر : دار دمشق للطباعة والنشر والتوزيع

دمشق - سوريا : شارع يور سعيد هاتف : ٢١١٠٢٢ - ٢١١٠٤٨ ص.ب

٥٣٧٢ تلکس ٤١٢٥٣٨ ربه

● المقدمة :

ستتناول الأجزاء اللاحقة ، بعض المواضيع الهامة ، المتعلقة بالأساسات ، وبالنشآت المشادة من مختلف أنواع المواد المعروفة . وهذه الأبحاث ، لا بد لها من تمهيد ، يتناول أساليب الإنشاء ، وطرق التحليل الإنشائي ، وهذا ما كان .

تناول الجزء هذا ، أساليب التحليل الإنشائي ، معتمدين في ذلك ، على قوانين وقواعد رياضية مبسطة ، مبيحين قدر الإمكان ، عن القوانين الرياضية المعقدة ، إذ الهدف كان ، إعطاء المعيارين فكرة موجزة عن عملية التحليل الإنشائي ، بهدف وضع الطرز والأشكال الإنشائية ، في موضعها الملائم .

تناول الفصل الأول ، أساليب ونظريات الإنشاء والتصميم الإنشائي ، وهو بحث اعتمد على تفصيل مفهوم الحمولة ومكوناتها ، إضافة إلى توسعه في طرق فهم كيفية جعل المبنى ، يستجيب بشكل فعال ، لمتطلبات المتانة والاستقرار . ألحق بالفصل الأول ، بحث تناولنا فيه ، خصائص مواد الإنشاء التقليدية المعروفة .

بحث الفصل الثاني ، في نظريات التوازن ، وقدم فكرة موجزة وبسيطة ، عن مفهوم مقاومة المواد . إضافة إلى تعرضه لمفهوم الإجهاد المحوري ، من خلال صياغة معادلاته ، ومحاولة البرهنة عليها ، بأبسط الطرق الرياضية .

انتقل الفصل الثالث ، لمناقشة مفهوم الإنفعال والتوتر وتطبيقاته ، إضافة إلى تتبع مفهوم إجهادات القص ، ومحاولة صياغة معادلاته ، وإثباتها أيضاً ، بأبسط الطرق الرياضية .

إن الهدف من هذا الجزء ، كما سنرى من خلال تتبع فصوله وفقراته ، هو إعطاء المعاري ، خلفية علمية مبسطة ، يستطيع من خلالها ، تفهم سلوكية العنصر الإنشائي ، أثناء تلقيه القوى والحمولات المقررة ، ولكي تساعد أيضاً ، على فهم ما ستأتي عليه من أبحاث ، في أجزائنا اللاحقة .

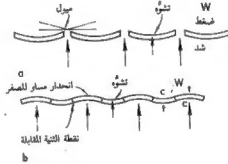
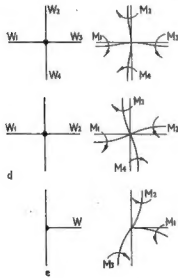
الفصل الأول

أساليب ومواد الإنشاء التقليدية

أساليب ومواد الإنشاء التقليدية ، لكي يتسنى لنا الإنطلاق ، نحو معرفة مجالات التطور المتاحة .

● المقدمة :

سنعطي في هذا الفصل ، لمحة موجزة عن



● النظريات الإنشائية :

● الحمولة :

1.01 - تتحدد البنية الإنشائية للبناء ، وفقاً للمعيار التصميمي ، أو الجملة الإنشائية المتتافة . وهذه الجملة ، تلعب مجموعة من الاعتبارات ، دوراً في تحديدها ، ومنها : قيود وحدود الموقع ، المتطلبات الوظيفية ، والمفهوم أو التصور المعماري . بعد تحديد الجملة الإنشائية ، ينتقل المصمم إلى المرحلة الثانية ، المتضمنة تقييم وتقدير الحمولات ، وتحليل نماذجها . يمكن لنا تحديد الحمولة الميَّنة ، أو الوزن الذاتي للبناء وعناصره الإنشائية ، بدقة مقبولة ، عند المرحلة الثانية هذه . أما الحمولات المركزة ، أو الأوزان المحمولة ، فإن تقديرها وتقييمها ، يحتاجان إلى شيء من الدراسة والتحليل .

1.02 - ينبغي على المصمم أن يتذكر ، أن الهدف من إدراج الحمولات القانونية ، ضمن جداول خاصة ، هو محاولة لتصنيف أنواع شتى من حمولات الأبنية . إن مقادير الحمولات الميَّنة على جداولها ، هي الحد الأدنى للحمولة . وتسهيلاً للمصمم ، تسجل

الحمولات على الجداول ، وكأنها حمولات موزعة بانتظام ، على الرغم من أن الحالة هذه عملياً ، نادرة الحدوث .

يدرس مسبقاً السلوك المتوقع للحمولة ، وتأثيراتها على المبنى ، وذلك قبل تبني القوانين العلمية ، الصالحة لتفسير التوزيع المنتظم للحمولة . إن قدرة الأرضية ، على نشر الحمولة ، فوق مساحات تفوق المساحة الفعلية ، التي يشغلها الحجم المادي للحمولة المطبقة ، تساعد كثيراً ، على تبني التفسيرات هذه . فالألة الطابعة مثلاً ، غرفة السنترال ، وغيرها ، أجسام ذات حمولات مركزة ، إلا أن التعامل معها واستثمارها يتطلب ، مساحات عمل إضافية ، تقع حول الأجسام هذه ، خالية من الإشغالات ، مما يتيح لنا إدراجها ، ضمن منظومة الحمولات المنتشرة .

1.03: على أي حال ، ويشكل عام ، لا نلاحظ أي تغير في مقادير الحمولة ، المتخصص عنها والمصنفة ، ضمن جداول معيارية ، ما لم يحدث تغير في طريقة استخدام المبنى . فعلى سبيل المثال ، تعد حمولة أرضيات المكاتب المساوية لـ (2.4 kN/m^2) ، مضافاً إليها الضاوت الأصغري المقبول للفواصل ، غير كافية تماماً ، لتغطية الحمولة المعرضة لها أرضياتها ، خصوصاً إن أمثال تلك الغرف ، تتعرض كثيراً ، لتبدلات نوعية في أمانة تأثيلاتها الداخلية . فمن الأحسن والحالة هذه ، تبني الحمولات الأكبر . كما نلاحظ أن الحمولة وكيفية تلقيها ، تصبحان العامل الأهم ، المسيطر على العملية التصميمية .

1.04: لا تراعى مقادير وقيم الحمولات بحسب ، بل يراعى أيضاً عند التصميم ، طبيعة تلك الحمولات . فعلى سبيل المثال ، تعد الحمولات الميتة ، حمولات ثابتة ومستديرة ، أما الحمولات الطارئة أو المضافة ، فهي حمولات عابرة ، تختلف في خصائصها وصفاتها ، عن تلك الثابتة . ومن تلك الاختلافات ، ما تسببه الحمولات الميتة ، ذات الصفة الدائمة ، في

مواد الإنشاء ، إذ تستطيل المواد هذه وتتشوه ، وتستمر أطوالها في ازدياد ، وإن لم تزد قيم الحمولات هذه . بعضاً من الحمولات الطارئة أو المضافة ، كالأوزان المحمولة على أرضية فراغ مخزني ، تنصف أيضاً بما تنصف به الحمولات الثابتة ، إذ تسبب تشوهات مستمرة ، نلاحظ آثارها الضارة ، على طول مجازات أرضية المنشأة .

1.05: قد يكون مبعث الحمولات الطارئة أو المضافة ، اهتزازات حركية ، ذبذبات صوتية ، أو ميلان بعض العناصر الحاملة ، ارتفاع عناصر من المبنى ، نتيجة استجاباتها لحمولات خارجية ، عدم استقرار المبنى ، وأخيراً الإجهادات الناشئة ، عن فساد واهتراء البنية الهيكلية للمبنى ، والناشئة غالباً ، عن طول فترة الإستثمار ، وعدم كفاية الإجراءات المتخذة ، للحماية وصيانة الأجزاء الحاملة . إن الإستجابة للحمولات المتحركة هذه ، ودراسة تأثيراتها على المنشأة ككل ، عملية تدعو إلى تعقيد إجراءات التصميم ، إلا أن البحث والحيرة ، أوجلتا خطوات توجيهية ، مكنت من عقلنة وسلسة إجراءات التصميم ، وعمقت فهمنا لما يحدث للبنية .

- 2.06 : إن الحمولات الناشئة عن ظواهر طبيعية ، بما فيها الرياح ، الثلج ، والحمولات الناشئة عن الزلازل ، هي من الحمولات السائبة ، التي يصعب تحديد مقدارها ، كما يصعب معرفة مناحها ، خصائصها ، ومدى تأثيرها على المبنى . ضمن تصنيف الحمولات هذه ، يكون المستمر والمشروع ، عجزين في الواقع ، عن التصرف المرضي والمعقول والملائم لمتطلبات الحال . إن الفجوة ما بين الحمولات الطبيعية ، الناشئة عن ظاهرة طبيعية ، متكررة الحدوث ، وفق فترات زمنية محدّدة ، وبين الحمولات الإستثنائية ، الناشئة عن حوادث نادرة ، إلا أنها تبقى في حدود الحوادث النادرة ، والتي لا يحكمها عادة ، التكرار والانتظام الذي نشهده للحمولات الطبيعية ؛ لا شك أنها فجوة كبيرة ، وأكبر من أن تستطيع تغطيتها ، التشريعات والأنظمة المحلية ، وذلك كون كلف الإحتياط لها ، عالية جداً ، وهذا ما دعا إلى ترك هذه المسألة ، معلّقة على قرار مهندسي الإنشاء ، كل على حدّث ، ووفقاً لما عليه عليهم طبيعة المنطقة ، وأهمية المشروع .

- 1.07 : نستطيع توفير المعلومات الضرورية ، لتعديل بنود أنظمة البناء وتنقيحها ، فقط من خلال المراقبة الفعلية ، والمعايشة طويلة الأمد ، لأبينة تكاملت عناصرها المكوّنة ، ووضعت موضع الإستثمار . تشير أنظمة البناء المتاحة ، على صعوبة الإحاطة بكافة تأثيرات حولة الرياح ، على الرغم من تناولها ، لبعض الظروف المحيطة ، بمواقع ذات طبيعة خاصة ، حيث يجري دراستها ، مرتبطة بأشياء أخرى ، يميّز بها موقع المبنى ، أو طبيعة المنطقة .

إن تأثيرات الرياح ، لا تنحصر فقط على ما تحدثه من آثار ، على متانة المنشأة ككل ، بل أيضاً لها تأثيرات جانبية ، على عناصر الإكساء ، عناصر التثبيت ، والعناصر الإنشائية الأخرى .

يمكن حلّ التأثيرات الإنشائية ، لرياح المنطقة ، فقط من خلال بحث مركّز ، يستقصي ما تحدثه الرياح من تأثيرات ، خصوصاً إن كان المبنى مكشوقاً ، ومعرّضاً بشكل مباشر ، لتأثيرات رياح المنطقة ، وكان أيضاً ، مبنىً عالي الارتفاع ، ذي شكل مركّب ، كثير الفجوات ، تخترقه قنوات متنوّعة الأقطار ، أو كانت ظروف بناء تلك الأبنية ، وطبيعتها الوظيفية ، تقتضي ترك فجوات فيها بينها ، وهذا ما نلاحظه ، في أبراج متقاربة ، تكون عرضة للإنهيار ، نتيجة لكونها من النقاط الأضعف إنشائياً ، والأكثر تعرّضاً لرياح المنطقة .

2.08 : لا يمكن تغطية تأثير حمولة

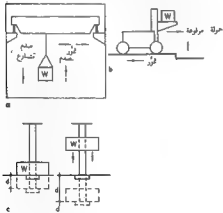
الثلوج على المنشأة ، ضمن بنود أنظمة البناء ، خصوصاً في المناطق الباردة ، والمساحات المكشوفة ، حيث تسود الرياح الشديدة ، ودرجات الحرارة المنخفضة . قد

تطيل العوازل الحرارية الفعّالة ، من أمد مكوّن الثلج ، على بعض السطوح ، كما يمكن أن يمتد مكوّن الثلج المتجمّد ، على السطوح المقعّرة ، وبين مسابيل السطح المشكّلة من تقابل سطحين مائلين ، إلى فترة بدء تعرّض البناء ، إلى حمولة الرياح . يرتبط رجبان اجتياح الحمولتين هاتين معاً ، بخصائص وطبيعة الموقع .

1.99 - لا يمكن عملياً ، تفطية الحمولة

الخاصة ، التي يمكن أن تتعرض لها الأرضيات ، ضمن بنود أنظمة وتشريعات البناء ، وهي حمولات ، غالباً ما تكون ناشئة ، من أوزان التجهيزات ، الآلات ، والمعدات المركبة ، لتساهم في عملية الإنشاء ، وفي تركيب وتجميع التمديدات ، بمختلف أشكالها . كما يمكن لهذه الأرضيات ، أن تتعرض لأشكال تلك الحمولات الخاصة ، في فترة لاحقة ، وهي فترة استئجار المبني . تسبب بعضاً من هذه الحمولات ، تأثيرات

حركية ، ينبغي أن تلاحظ ، على المخططات الأفقية والشاقولية للمبني . تسبب تزايد سرعة المركبات والرافعات ، تباطؤها ، وفرملتها ، تمورٌ يصعبه شوه قوى جانبية ، تعمل ضمن بنية المنشأة . تحدث القوى المتحررة عن حمولات طبقت على حين غرة ، أو عن حمولات ساقطة ، تأثيرات إجهادية ، أكبر بعمدة مرات ، من تلك التي تولدها ، حمولة ساكنة ، مساوية لها في القيمة ، أنظر الشكل (١ - ١) .



الشكل (١ - ١ - أ) : يظهر الشكل الحمولات الناتجة من كل من : الصدم ، حركة الآلة الإهتزازية والتمور ، والحمولات الطولية المرفوعة ، كما تظهر على المسقط .

الشكل (١ - ١ - ب) : يظهر الشكل واجهة الحمولات الناتجة من كل من : الصدم ، التمرور ، والحمولات الطولية المرفوعة .

الشكل (١ - ١ - ج) : يظهر الشكل الحمولة الساكنة .

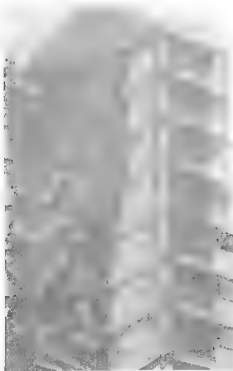
الشكل (١ - ١ - د) : تسبب الحمولات الحركية تشوهات دائمة أحياناً في المبني .

- 2.10 : تدوم تلك التأثيرات ، الحسن الحظ ، وفي معظم الحالات ، لفترة قصيرة جداً ، ومع ذلك ينبغي على المصمم ، أخذها بعين الاعتبار . هناك تأثيرات حركية ، تحدثها حولة الرياح ، وهي تأثيرات جرى التنويه عنها ، فيما سبق من فقرات ، إضافة إلى ذلك ، هناك تأثيرات أخرى ، تحدثها الرياح ، منها ظاهري الإهتزاز والرنين ، اللتان تحدثها الرياح ، في المنشآت العالية ، والجسور ذات المجازات المتسعة . تحدث الزلازل أيضاً ، تأثيرات حركية . ونتيجة الفواجع التي تسببها الزلازل عادة ، تصدق المماريون والإنشائيون ، بالبحث والدراسة ، لهذه المشكلة ، عليها إيجاد لها حلاً ، يقوم به منشأتها ، من غطر انبهارها على رؤوس مستثمريها . اندرجت نتائج الأبحاث تلك ، ضمن خطوات التصميم التوجيهية ، ليجري من خلالها ، تصنيف المساحات المعرضة للزلازل ، وهي مساحات ، تدخل في حسابات منشأتها ، عامل احتمال تعرض المبنى ، لاختطار الزلازل .

- 2.11 : إلا أن هناك العديد من الأبنية ، المتواجدة خارج نطاق المناطق المعرضة للزلازل الأرضية ، ومع ذلك تتعرض لحمولات مركبة ، غالباً ما تكون ، على شكل حمولات كبيرة ساكنة ، مترافقة بتأثيرات حركية . ففي الأبنية الصناعية على سبيل المثال ، تقوم الآلات والمكابس الضخمة ، بتوليد صدمات ، تشابه في تأثيراتها ، ما تسببه الزلازل عادة من تأثيرات . تسبب الصواخط والآلات ، ذات الترددات المضطربة ، اهتزازات تصل بشدتها إلى حد الرنين ، مما تسبب انهيار منشآت الإمتداد . إن الطاقة المحررة ، من آلة تخرية العيّنات ، بعد إتمام كسرها للعيّنة ، تنتقل على كامل هيكل الآلة ، متجهة إلى أرضية المنشأة ، لذا كان من المفضل دوماً ، عزل أو فصل أمثال الآلات هذه ، عن أرضية المنشأة .

• 8.12 : غطت التعديلات الحارية على
 أنظمة البناء ، خاصة التعديل الخامس الحاري على
 الكود البريطاني / ١٩٧٠ / ، مشكلة الحمولة المقوّصة ،
 في الأسبّة التي تريد ارفعها عن أربعة طوابق ، بما فيها
 الأسبّة ، والمقصود لاحتر حرجته ، تحدث عرجا لم
 تشر التعديلات هذه ، إلى الأخطار الناتجة عن
 الإنفجارات .

الشكل (٢ - ١) - نلاحظ أضرارا بسيطة ، مبيّتها انفجار اسطوانة
 غاز ، نتيجة الإحتياطات المتخذة ، ومنها فصل الجمل الإنشائية عن
 بعضها البعض



لقد كان الهدف من التعديلات هذه ، هو الإشارة إلى ما يجب اتخاذه من إجراءات ، تكفل ثبات واستقرار المنشأة ، ولو تعرض أحد عناصره الإنشائية الحاملة ، كواحد من الجسور ، عمود من الأعمدة ، بلاطة أرضية من أرضياته ، أو جدار من جدرانها ، إلى الإنهيار ، نتيجة لتعرضه ، لخطر خارجي عارض ، أنظر الشكل (٢-١) . ينبغي لنا إدخال الضغوط المتعاقبة ، والمساوية ($34kN/m^2$) ، والمؤثرة في كل اتجاه ، بعين الاعتبار ، لتعمل معاً مع كل من الحمولات الميتة ، مضافاً إليها ثلث الحمولة الحية ، وثلاث حولة الرياح .

ينبغي أن تكون الأرضيات الواقعة تحت منسوب الجهة المتضررة من الحادث المرضي ، أهلاً لتحمل أوزان أنقاض الطوابق العليا المنهارة . تحت ظروف الحمولة هذه ، نلاحظ انخفاض عامل السلامة إلى حدوده الدنيا . لتغطية الحمولات الطارئة تلك ، نحسب منشآت البيتون المسلح ، على أساس ضرب الإجهادات الناتجة عن الحسابات المجرة ، وفق كود معين ، يعامل يساوي (١,٧٥) ، بينما تضرب

الإجهادات الناتجة عن الحسابات المجرة ، وفق كود معين ، في منشآت الحجر والقرميد ، يعامل تتراوح قيمته ما بين (٤,٣,٥) .

١.١٣- يعد التعديل الخامس المطبق على أنظمة البناء البريطانية ، تعديلاً موجزاً ، إلا أن إنجازنا ناشئ عن الدقة في التعابير المختارة ، والكافية لتغطية كافة الأنواع والطرز الإنشائية . على أي حال ، وبسبب كون التعديل موجزاً ، ظهرت العديد من الإيضاحات والتفسير المهمة ، بإظهاره خفايا التعديل هذا .

وليكن معلوماً ، أن التوصل لحل إنشائي بسيط ، لا يمكن أن يتم ، دون تقريب وجهات النظر ، ما بين المصمم ، وبين الجداول المراد الرجوع إليها .

• حساب الأساسات والقواعد التأسيسية :

- 2.01 : إن المستقر النهائي لكافة الحمولات ، المركبة منها واثنية ، هي أرضية التأسيس . وإن المهمة الأساسية ، الواقعة على عاتق المنشأة ، والأساسات جزء لا يتجزأ منها ، هي تلقي الحمولات بشكل سليم معافي ، ونقلها بكفاءة إلى أرضية التأسيس . تتحدد الحمولات الواقعة على المنشأة ، بعين الاعتبار ، كافة العوامل المؤثرة على تحديد الحمولات المركبة ، والمشار إليها في الفقرة السابقة . نستطيع أيضاً ، تحديد الخواص الإنشائية لتربة التأسيس ، بالتصرف المناسب ، والمعاينة الدقيقة للتربة الواقعة تحت منسوب الأرض الطبيعية ، ومن خلال المعلومات المتوفرة عن تجربة وخبرة ، وخاصةً بطروف ومواصفات تربة ومناخات المنطقة .

- 2.02 : على أي حال ، تؤثر القرارات

المتخذة بحق الجملة التأسيسية ، على اختياراتنا المستقبلية لتنوعية ومواصفات الجملة الإنشائية بأكملها . فعلى سبيل المثال ، نلاحظ أن :

- ١- إنشاء منشآت على أرض طينية ، قابلة للتقلص ، يستدعي تجميع الحمولات ، لتلقاها باديء ذي بدء ، الشبائجات الأرضية ، و/ أو بلاطات تأسيسية ، تعمل على تجميع الحمولة ، وتركيزها على أوتاد ، تقوم بنقلها بعيداً ضمن التربة ، حيث طبقة التأسيس ، البعيدة عن التأثير بالتغيرات المناخية .
- ٢ - يتطلب إنشاء منشآت على أرض هشة ، أو قدرتها ضعيفة على تحمل الحمولات العالية ، بناء قاعدة تأسيسية واسعة المساحة ، أو تزويد أرضية التأسيس ، ببلاطة مسلحة ، تعمل على توزيع وتشتت حمولات المنشأة .
- ٣ - إن المنشأة المحمولة على أوتاد ، لا بد أن تصمم وفق موديل ما ، تتوزع من خلاله أعمدة وأوتاد المبنى .

٤ - تشاد المنشآت التي تتصف بصلاية موادها ،
ولمراد حمايتها من التأثير بأحطار هبوطات التربة المتباية ،
على وحدات تأسيسية متساوية الصلاية ، كما يمكن تقسيم
المنشأة هذه ، إلى أجزاء متراسة ، متينة البنيان ، تعمل
كل منها ، بمنزل عن الأخرى .

٥ - إن تصميم المنشآت ، على شكل وحدات منفصلة ،
يضمن لها الحصول على مرونة عالية ، تستطيع بها مقاومة
الإنبيار الناشئة عن انخساف التربة .

2.03 - نصمم الأقبية لأداء وظيفتين أساسيتين بأن
واحد ، فهي من جهة بمثابة جدران استنادية ، ومن جهة
أخرى ، بمثابة أساس حامل ، متسع الأبعاد ، يعمل على
تلقي وتثبيت حولة المنشأة ، خصوصاً في المنشآت المشادة
من مواد صلبة . إلا أن سلبية الأقبية ، تكمن في
الصعوبات التي تواجهها ، في ضبط شقوق وشروخ
جدرانها ، خصوصاً إن أشيدت تحت منسوب المياه
الجوفية . يتطلب إنشاء الأقبية ، التقيد التام بأساليب

الإنشاء ، الحرص في تنفيذ فواصل التمدد ، والإهتمام
بوسائل العزل للتربة . تعد الأقبية المشادة ، لصالح أبنية
بسيطة الأبعاد ، بمثابة أساسات لها ، تعمل بكفاءة ،

وقادرة على تحمل حمولاتها وأوزانها ، ومن ثم نقلها إلى
التربة ؛ وإن كانت قدرة تلك التربة على تلقي الحمولات
ضعيفاً . يحتاط المفلون من أخطار غرق الأقبية ، وإن
كانت الحمولات المثقلة بسيطة ، خصوصاً أثناء فترة
التنفيذ ، إن أشيدت على منسوب المياه الجوفية .

● التصميم الإنشائي :

* تصميم البيئة والمرافق العامة :

3.01 : تؤثر المتطلبات البيئية للأبنية الحديثة ، تأثيراً واسعاً على التصميم الإنشائي . بعض تلك المتطلبات ، تحددها التشريعات وأنظمة البناء المحلية ، وبعضها الآخر ينشأ عن النشاطات المزعم أدائها ضمن المبنى ، أو الناشئة عن رغبات الزبون .

تقسّم المرافق والخدمات ، في المصطلح الهندسي ، إلى أربعة مجموعات :

١ - الخدمات البيئية :

وهي مجموعة الخدمات ، التي تقوم بضبط بيئة فراغات الأبنية الداخلية ، وتتضمن : تدفئة ، تبريد وإنارة قطاعات وفراغات الأبنية الداخلية .

٢ - مرافق التغذية :

وهي خدمات تقدّمها أجهزة وتجهيزات ، بهدف تزويد المبنى ، بما يجعله قادراً على تلبية الإحتياجات اليومية لمقاوليه ، كالتجهيزات المشادة لتلبية إحتياجات مستثمري المبنى للمياه الحار والبارد ، الغاز ، الكهرباء ، وهكذا

٣ - مرافق تصريف الفضلات :

وهي خدمات تقدّمها أجهزة وتجهيزات ، بهدف التخلص من الفضلات الناتجة ، عن ممارسة قاطني الفراغ ، لأنشطتهم اليومية ، كالتجهيزات المشادة للتخلص من القمامة ، ومخلفات الإنسان العضوية .

٤ - التجهيزات المرفقية المركزية :

وهي تجهيزات تشاد لتشغيل مجموعة المرافق السابقة .

3.42 : تؤثر خطط المرافق الحيوية ، على التصميم الإنشائي ، لذا ستدرج فيما يلي ، حجم المشاكل التي سيعرض لها المصمم الإنشائي ، إن أخفل النظر إلى خطط المرافق الحيوية .

١ - يتولد عن القنوات والأنابيب المشادة للهوية الفراغات ولتصرف خلفاتها ، مشاكل لا تنحصر فقط بالمساحة الكبيرة الملتصقة لها ، بل أيضاً بصعوبة التعامل معها ، حيث يصعب ثنيها بدقة ، أو تغيير اتجاهها . علاوة على ذلك ، ينبغي تصميم خطوط التوزيع الرئيسية ، بما يتناسب مع ما يمكن أن يطرأ من تغيرات مستقبلية ، في طريقة استخدام المبنى .

٢ - تولد معظم التجهيزات ، خصوصاً تلك الحاملة لمواد سائلة ضجيجاً ، كما أنها تصنع غالباً ، من المواد الناقلة للإهتزازات الصوتية . إن انتشار الضجيج والإهتزازات الصوتية ، من تجهيزات الخدمة ، قد يصل إلى حد ، يفوق المستوى المقبول ، لذا يجري تجميع التجهيزات الإنشائية ، حيثما وجدت ضرورة لزلزل وفصل مصادر الإزعاج .

٣ - تسبب حركة أنابيب وقنوات البخار والتدفئة ، نتيجة ارتفاع درجة حرارتها ، حركات زائدة ، على كل من

نقاط التثبيت ، وعند نقاط تثبيت طارئة أو أساسية أخرى . لذا ينبغي أن تتكامل الحركات والحملات هذه ، ضمن بنية المنشأة . وبالعكس ينبغي الحؤول دون انتقال الحركات الإنشائية الضخمة ، كتشوّه الجسور أو الأرضيات ذات المجلزات الواسعة ، إلى المرافق ذات التجهيزات الصلبة .

٤ - ترتبط اختيارات مواد إكساء وإنشاء الأبنية ، بمعايير العزل الحراري ، الضرورية لتغليف الأبنية ، ويتعدى ذلك ، متطلبات مشابهة لتطبيقات الإنارة الطبيعية ، عزل الأصوات ، وعيوب الفراغات ، الآلية منها والطبيعية .

٥ - تتطلب حركة المواد والأشخاص داخل المبنى ، أجهزة وتجهيزات آلية ، تؤثر بشكل أكيد ، على شكل المشاة ، ومن تلك الأجهزة والتجهيزات نلاحظ ، الروافع ، المصاعد ، والمرفعات الآلية .

• الموارد :

- 4.01 : إن مسألة البحث عن اليد العاملة ، وعن مصادر للمواد الأولية ، لم تكن قديماً من المسائل ذات الشأن ، ولم تؤثر كثيراً ، على اختياراتنا لشكل المنشأة . أما الآن ، وفي العديد من المناطق ، خصوصاً في المناطق النائية ، أو في المساحات التي يتعدى الوصول إليها ، أو تلك المعرضة لمناخات قاسية ، أصبحت مسألة البحث عن موارد المواد الأولية ، قضية غاية في الأهمية ، ووثيقة الصلة بالعملية الإنشائية . لقد أصبحت لأساليب التنفيذ المحلية ، ولمواد الإنشاء المتاحة في إقليم ما ، أهمية كبرى في اختيار شكل المنشأة ، خصوصاً إن أريد إنشاء عوارات يكلف منخفضة . هذا وستوجهنا الخبرة المتراكمة مع الأيام ، إلى أي من مواد وأساليب الإنشاء الملائم استخدامها ، وهي تتنوع من مكان لآخر ، ووفق ما يتوافر من مواد الإنشاء ، فذلك الإقليم يستخدم منشآت معدنية ، وتلك بيوتية ، وثالثة قرميدية ، ورابعة خشبية ، وهكذا

• أساليب ونظريات التصميم :

- 5.01 : تتحكم بالجملة الإنشائية المختارة ، مجموعة من المتغيرات الخارجية ، كما تتحكم بها ، مدى مهارة وخبرة مهندس الإنشاء ، وينجلي ذلك على مراحل ، فور وضع التصور للمباني لبناء . تعد الأخطاء عند هذه المرحلة ، أخطاء قاتلة ، فهي إن لم تفرز وتحدد ، يصعب مستقبلاً تصحيحها ، وإن أمكن ، فإن ذلك سيكون باهظ التكاليف . إن مجموعة الإجراءات ، التي تعقب تحديد الجملة الإنشائية ومقوماتها ، هي إجراءات تقنية ، تحرم حول المفاهيم والقرارات الرئيسية ، التي سبق للمصمم اتخاذها .

- 5.02 : نستطيع الآن تبيان المقاصد الإنشائية ، وتوضيح ما إذا كانت متوافقة مع فكرة التصميم أم لا ، باتباع الخطوات التوجيهية التالية :

١ - ملاحظة فيما إذا كانت التقنيات الإنشائية المتوي استخدامها ، وكذلك مواد الإنشاء ، بما تتطلبه من حيز فراغي أصغري ، ينسجمان مع التشكيلة الإنشائية المختارة .

٢ - العمل على إيجاد طريقة ، تتيح لنا الإستخدام الأفضل لعناصر الإنشاء ، وهي ضمن نسق الجملة الإنشائية المختارة .

٣ - الإستخدام الأكثر فعالية للمادة المختارة .

٤ - التأكيد على متانة المادة الإنشائية .

٥ - بحث ودراسة طريقة تصرف المنشأة تجاه النيران .

٦ - دراسة اعتبارات الموقع ، ومدى تأثيرها على المنشأة .

٧ - دراسة مدى اقتصادية المنشأة .

- 8.83 : ينبغي معاينة النماذج الممكنة لطريقة تدفق الحمولة وانتقالها ، إلى أن تصل التربة ، وإشادة نظام إنشائي حامل ، إن أردنا إنجاز جملة إنشائية فعالة . وبشكل عام ، ترتبط كلفة المنشأة ، وما يتطلبه مصيها من حيز فراغي ، بشكل مباشر ، بتعقيدات النموذج ، الذي يتم وفقه انتقال الحمولة ، وبالأسلوب المتبع في تغطية المسافات الواقعة ما بين عناصرها الحاملة . تتخذ القرارات التصميمية ، للمساعدة في تحديد المتجازات ، ومتطلبات مساحات السقوط المكشوفة . قبل تحليل العلاقات الدخلية ، الرابطة ما بين بلاطات المنشأة ، جسورها

وأعمدتها ، بهدف إقرار النموذج الذي سيتم بموجبه انتقال الحمولة إلى تربة التأسيس ، لا بد من حل قضية تقسيم المنشأة إلى أجزاء ، ويتم ذلك مشروطاً ، بما تحدته الحرارة من تأثيرات على المنشأة ، تتجلى بظاهرتي التمدد والتقلص . إن أبنية تصل أطوالها إلى حوالي ستين متراً ، قد لا تحتاج لتعادي ظاهرتي التقلص والتمدد ، فضلاً تامةً ، إلا أنه وصمم تلك المسافة ، تتطلب بعض العناصر الإنشائية ، كالحواجز المشادة على الأسقف أو الشرفات ، والياتوهات المشادة من البلوك ، بعض الإجراءات الخاصة . كما ستحتاج المنشآت ذات الأشكال الغريبة ، وكذلك صهاريج حفظ السوائل ، وبعض الأبنية ذات المرامي الخاصة ، مثل مستودعات التبريد ، إجراءات أكثر حزمًا . إن إجراءات كهذه أيضاً ، تحتاجها أبنية ، أشيدت من مواد تباينت درجة تأثرها بالتغيرات الحرارية ، كالأبنية المشادة جدرانها من البلوك ، وبلاطاتها من البتون . إذ يسبب تباين تغيرات حجوم كل منها ، استجابة لدواعي ارتفاع وانخفاض حرارة المناخ المنطقة ، تشققات عند الفاصل ، تظهر سليبتاتها ، بعد إنجاز أهال التشطيبات بفترة وجيزة .

5.04 : يمكن أن تندرج متطلبات التصميم ، ضمن قائمة ، تحوي مجموعة من الأبعاد الحرجة ، يتقيد بها الإنشائي ، عند تصميم بجلته الإنشائية ، منها شاقولياً ، سيطرة بلاطة الأرضيات ، وارتفاعات الجسور ، ومنها أفقياً ، سيطرة الجدران وأبعاد الأعمدة . يجري التحقق ، فيها إذا كانت الأبعاد المفروضة السابقة تلك ، قادرة على تحمل الأوزان والحمولات المقررة ، دون الوقوع في شرك تشوهات ، تصيب العناصر الحاملة ، وتتجاوز قيمها المحدود المقبولة . هذا ، وإن العملية الجدلالية هذه ، تعتمد أكثر ما يكون ، على الخبرة الشخصية ، والتي يستطيع بها المصمم ، وضع الأبعاد المناسبة للمقاطع ، وينتس الوقت ، القدرة على تحمل الأوزان والحمولات المقررة ، دون أن تعترها تشوهات ، تتجاوز قيمها ، القيم المسموح بها إنشائياً . إن القيود التي تفرضها أنظمة وتشريعات البناء ، وخاصة بتفادي تشوهات البلاطات والجسور الحاملة ، لا تكفي للحدوث دون تصدع الجدران والقواصل المحمولة على تلك البلاطات والجسور .

5.05 : إن أبحاث التحليل الإنشائي ، قد أفرد لها فصول لاحقة من موسوعتنا هذه ، إلا أننا وجدنا أنه من

الضروري هنا ، إجراء تقييم لأساليب التصميم ، لكي نستطيع تصور ماهية المنشأة ، وإدراك مفهوم الإنشاء . لتحقيق منشأة متينة واقتصادية بنفس الوقت ، لا بد من تقييم دقيق لكافة الحمولات ، يتجه تقييم دقيق آخر ، لما تنبئ به تلك الحمولات ، من إجهادات تصاب بها بنية المنشأة ، أو عناصرها المكونة . إن العلاقة الرابطة ما بين الحمولة والإجهاد الخارج ، هي التي تشكل مقياساً لسلامة المنشأة . إلى وقت قريب ، كان المهندسون بدراسة طريقة تصرف المادة ، تجاه ما تتلقاه من حولات ، هم مهندسون الميكانيك ، ولم يكن ذلك من اختصاص مهندسي الإنشاء . لقد كانت المعارف التقليدية ، الخاصة بأسس التنفيذ ، تلف حائلًا في وجه اكتشاف مواد جديدة ، وكان لا بد نتيجة لذلك ، من بذل جهود كبيرة ، بهدف تبسيط وعقلة التصميم الإنشائي ، مما أتاح الوصول إلى ما يسمى بالتصميم الإنشائي العملي ، المعتمد على التواحي التجريبية في الإنشاء . بعضاً من هذه الإجراءات ، كان معداً لتطوير أساليب ونظريات التصميم ، والتي ما زالت تستخدم إلى اليوم ، وترتبط مباشرة بقواعد وطرق تصميم الجوائز الخشبية ، والجسور المعدنية .

- 5.06 : قال روبرت ميلارد ، في الفقرة التي تحدث فيها عن تطوّر أسلوب تصميم البلاطة المستوية : لقد كان الخشب واللغائف الفولاذية سابقاً ، متاحان كبدتان صالحتان لإنجاز أعمال الميكل الخاص ، بإنشاء البلاطات ذات المجازات الطويلة . مع العلم بأنه لم يكن في الإمكان ، تشكيل المادتين هاتين كيفما نشاء ، إذ كان الشكل الرئيسي المتاح لها ، هو شكل الجسر ، وكان البعد الرئيسي له ، هو الطول المحدّد بطول المادة الخام ، ونظريات الإنشاء ، وبالمواد هذه أمكن تصنيع عناصر الإنشاء الرئيسية ، وهي عناصر أصبحت مألوفة لدى مهندسي الإنشاء ، وما عداها من حلول ، كانت تبدو لأذهانهم غريبة شاذة . كان من نتائج استخدام المواد هذه ، بأشكالها التقليدية المألوفة ، استنباط طرق بسيطة ، تستخدم في الحسابات الإنشائية .

لم يتغيّر شيء ، مع بداية دخول البتون المسلح حقل الإنشاء ، حيث استخدم البتون المسلح ، عوضاً عن مادتي الخشب والفولاذ ، في إنشاء الجسور الرئيسية ، الممتدة ما بين جدار وآخر ، أو ما بين عمود وآخر ، كما انشئت جسور ثانوية مستعرضة ، ما بين الجسور الرئيسية ،

وتّم بعد ذلك تغطية الفراغات المتروكة فيها بينها ، كمسافات بينية ، ببلاطات مستوية من البتون المسلح . إلا أنه ، وعوضاً عن تصميم واستخدام البلاطات هذه ، وفقاً لأوصافها الإنشائية الفريدة ، جرى تقسيم البلاطات ، إلى شرائح بيتونية ، حيث صمّمت كل شريحة على حدى ، وكأنّ البلاطة عبارة عن مجموعة من الجسور ، لها أسلوبها النمطي الغريب . فلفظ مصمموا السفن البخارية ، هم اللذين استخدموا البلاطة ، كمعصر إنشائي مستقل ، وكان بدايات ذلك ، على يد المصمّم كراشوف ، بينما أحجم مصمموا الإنشاء ، في ذلك الوقت ، على فعل ما فعله مهندمو الميكانيك .

- 5.87 : إنَّ ملاحظة ميلات مازالت

صحيحة ، والتصميم الإنشائي مازال يعتمد الإفتراض
القاتل ، بأن العناصر الإنشائية ، يمكن تصميمها ، بحمل
عن بقية العناصر الأخرى . علاوة على أن المادة بعد
ذاتها ، مادة مرنة ، وسلوكها لدى تلقي الحمولة ، سلوك
مبثلي . هذا ، ومن المناسب افتراض ، أن العنصر
سيصرف لدى تلقي الحمولة ، كما ينبغي له أن يصرف ،
بصرف النظر عن تصرف المنشأة ككل . إن أمثال
الإفتراضات هذه ، ليست صحيحة دوماً ، وذلك نتيجة
مساهمة بعض العناصر اللانإنشائية ، في العملية
الإنشائية . فكل سبيل المثال ، نلاحظ تأثير جدران
البلوك ، للشادة ما بين أحملة وجسور هيكل المنشأة ، على
إرياء قدرة هذه العناصر الحاملة ، على تلقي الحمولات
المفروضة ، كما نلاحظ تأثير عناصر الإكساء ، على زيادة
متانة عناصر الهيكل ، ذات الأوزان الخفيفة ، كالجوائز
الشبكية . كما نلاحظ أخيراً وليس آخراً ، ما للصلابة
الدائية ، التي تتميز بها بعض عناصر الإكساء ، من تأثير
على زيادة قدرة المنشأة ، على مقاومة حمولة الرياح .

- 5.88 : إن التعلُّم نحو تصاميم أكثر علمانيَّة ، لم

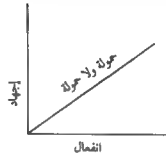
يكن نتيجة لرفض المبادئ الأساسية السابقة ، والتي
ترسخت تماماً مع الأيام ، بل كان نتيجة لفهمنا الأفضل
لسلوكية المنشأة ، مما حدا إلى النظر بعين الشك ، إلى
بجمل القيود والتعليقات القديمة . إن حالتي المرونة واللدونة
للتعاقبتين ، واللذان تمربا المادة ، أثناء تعرضها لحمولات
خارجية ، كانتا حالتين معروفتين ، منذ وقت طويل ، إلا
أنه ومنذ وقت قريب نسبياً ، أخذت تلك الحالتين ،
تدخلان كماملين هامين من عوامل التصميم الإنشائي ،
وكان من نتيجة ذلك ، حصول توزيع أكثر فعالية لمادة
الإنشاء ، مما أتاح تقلصاً في شأن ، أحوزته العلوم
الهندسية ، منكمها من تصميم منشآت ، كانت قديماً غير
مقررة ، ولا يمكن لنا حسابها . لقد أثبت التطور هذا ،
الذي تم الوصول إليه بمساعدة الأبحاث الحديثة ، أن
العلاقات البسيطة المفترضة سابقاً ، ماين إجهاد التشغيل
(وهو الإجهاد المحصور بعد المرونة) ، وبين الإجهاد عند
نقطة الإنهيار ، ليست بعلاقات صحيحة ، وذلك نتيجة
لتواجد التشوهات اللدنة ، مما دعا إلى أن تحمل محل العلاقة

هذه ، ما يسمى اليوم بعامل الأمان ، وهو عامل يعبر عن علاقة أدق ، ما بين حمولة التشغيل والحمولة الحقيقية ، المؤدية لاختيار المنشأة . فعامل الأمان هذا ، أو عامل

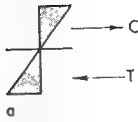
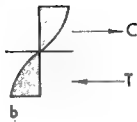
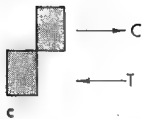
الحمولة ، هو نسبة حمولة التشغيل ، على الحمولة الداعية لاختيار المنشأة ، انظر الأشكال (٣ - ١) ، (٤ - ١) و (٥ - ١) .



الشكل (٣ - ١ - ب): يظهر الشكل التغيرات المرونة واللدنة



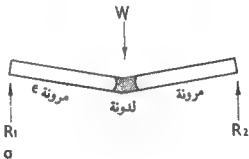
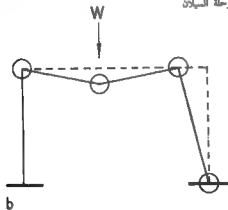
الشكل (٣ - ١ - أ): يظهر الشكل ارتباط الإنفعال بالإجهاد والمدة مرة .



الشكل (4 - 1 - ج): التمثيل المتعاكس للإجهاد عند حد المرونة ،
يهدف لتسهيل الحساب .

الشكل (4 - 1 - أ): تتزايد الحمولة إلى أن يصل الإجهاد إلى حد
المرونة

الشكل (4 - 1 - ب): الإجهاد وهو في مرحلة السيالان



الشكل (5 - 1 - ب): يتلوي مفصلة لدنة في إطار صلد

الشكل (5 - 1 - أ): يظهر الشكل لقصور وعجز الجسر ، عند نقطة
تطبيق الحمولة ، مشكلة مفصلة لدنة .

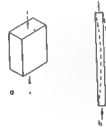
5.00 : يحدث التوتر نتيجة الإجهاد ، لذا كان من الأهمية بمكان ، فهم أسباب التوتر والتشوهات الإنشائية ، فهنا عميقاً ، لكي يصار إلى استخدام أساليب التصميم الحديثة ، بشكل مناسب . إن تحقيق الأمان الإنشائي ، هو المهمة الرئيسية ، الواقعة على عاتق المصمم الإنشائي . إلا أن التفضل الجيد للمباني ، لا يقتصر مفهومه على الأمان الإنشائي ، بل يتعدى ليتصدى ، حتى إلى مسيات تصدع الفواصل والجدران الداخلية ، تشوهات وانحرافات شاقولية وأفقية أطر النوافذ والأبواب ، تكسر أو انفصال بانوهات الإكساء ، وللتشققات التي يمكن أن تحدث في التجهيزات والمرافق المنزلية العامة . ينبغي عند التصميم ، مراعاة ليس فقط حالة التوتر (وهي حالة التشوه التي تكون عليها المادة ، فور تلقها الحمل المرفرة) ، بل أيضاً التغيرات الطارئة على أبعاد المواد الإنشائية ، والناشئة عن التغيرات الحرارية ، والتضاعلات الكيميائية .

لظواهر التقلص والتمدد تأثيرات هائلة ومتعددة الأشكال ، على بنية المباني الإنشائية . فعلى الرغم من أن للتغيرات الحرارية وجهان متضادان ، وبالتالي لا خوف

على المنشأة ، إن كانت التغيرات الحرارية ضمن معدلاتها الطبيعية ، إلا أنه تبقى هناك فروقات حرارية ، نعم أرجاء كتلة المنشأة ، مسببة حركات متباعدة ، إضافة الى ما تسببه خاصية كل مادة من مواد الإنشاء على حدى ، والمتعلقة بدرجة قدرتها على امتصاص الحرارة ، والاحتفاظ بها ، من حركات متباعدة ، تطلقها بنية المنشأة .

هناك أيضاً تأثيرات تسببها تفاعلات البيوتون الكيميائية ، ورشحات الرطوبة من خلال الشقوق والشروخ المتواجدة على سطوح المنشأة ، وهما ظاهرتان تستمران على طول السنوات الأولى من عمر المنشأة . تنمو بعدئذ أعداد وأقطار الفجوات ، التي تحدثها أمثال تلك التقلصات ، والناشئة عن التغيرات الحرارية ، وتلك الناشئة عن تقلص رطوبة المنشأة ، ومقادير تتناسب ورطوبة الجو المحيط بالمنشأة المدروسة . يمكن أن تسبب ردود الأفعال الكيميائية الأخرى ، كنمو الصدأ على سطوح الفضبان المعدنية ، وامتداد الجير الحش ، تأثيرات حجمية ، وأيضاً حيوب مظهرية قبيحة .

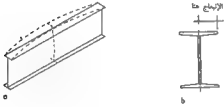
- 5.10 : إنَّ ظاهري الإجهاد والإنفعال ، هي تعتمد أصلاً في استنتاج قيمها ، على قواعد رياضية . أما مشاكل الثبات والثقة ، فهي مشاكل تحملها مجموعة من الخبرات العملية ، النظريات الرياضية ، والمهارات الهندسية . إنَّ متانة المنشأة شكلها العام ، تحمل مشاكلها ، وتقرُّ كفاءتها ، بناءً على مبادئ ونظريات التوازن . إلا أنَّ متانة عناصر البناء ، أبعد ما تكون عن الفهم الفوري البسيط ، على الرغم من تشابه مساهمتها ومظاهرها العامة . تضبط مظاهر الاستقرار والثبات ، تصاميم العناصر



الشكل (٧-١) : تمثيل الدعامات القصيرة ، إجهادات غير مرتبطة بالطول .

الشكل (٧-١-ب) : تمثيل الدعامات الطويلة ، إجهادات مرتبطة بكل من الطول ودرجة صلابة الدعامة .

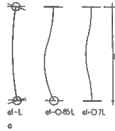
للمضغوطة ، أما التواءات الجسور والعناصر المضغوطة ، فتتحكم بها ، أطوال العناصر هذه ، وصلابة مقاطعها العرضية . أما عجز العناصر هذه ، وقصورها عن أداء وظيفتها الإنشائية ، فمبعثه غالباً ، الإلتحافات التمهيدية ، التي تسبق وصول الحمولات ، إلى درجة تسبب معه ضغوطاً وإجهادات حرجية ، أنظر الأشكال (٦-١) ، (٧-١) و (٨-١) .



الشكل (٦-١-أ) : يظهر الشكل كيفية انبعاج أو انثناء شدة الجسر ، تحت تأثير قوى الضغط .

الشكل (٦-١-ب) : يظهر الشكل الإنثناء المحلي للأجزاء البارزة من مساحة الجسر المضغوطة .

5.11 : كان هناك قديماً ، العديد المتباين من النظريات الأكاديمية ، المتعلقة بحساب قدرة مقاومة الأعمدة ، حتى أن اختيار إحداها كان كفيلاً بحل مشاكل أيّ تصميم مقترح . إلا أنّ البحث قد دلّنا على نظرية ، تفسر كافة النظريات السابقة ، وتعمل على عقلنة القواعد التصميمية ، مما جعل منها النظرية السائدة . إنّ



الشكل (أ - ١ - أ): العناصر مثبته في مكانها .

المناطق المرصدة لإجهادات الضغط من الجسور ، العتبات وصفائح الإستناد ، والتي تعمل كموارض شاقولية ، أو كأغشية حاجزة ، هي المناطق الأكثر تعرضاً للضعف . تلعب مهارة المهندس هنا ، دوراً في تمييز واحتواء التأثيرات الفيزيائية .

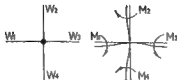


الشكل (أ - ١ - ب): العناصر أطرافها حرة قابلة للحركة .

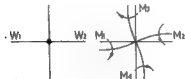
الشكل (أ - ١): الطول الفعال (L).

- 5.12 : إنَّ حالة الإمتداد البسيط للجسور الطولية ، (والجسور الطولية ، كما وصفها ميلارت ، إحدى عناصر الإنشاء الميكلي) ، وكذلك حالة وصل الجسر بمسند ، وصلة مسارية أو معلقة ، كما في حالة الروابط والقوائم الإنضغاطية ، المستخدمة كعناصر مصنعة ضمن الأطر والجوائز الشبكية ، هما حالتان يعبران عن مفهومين نظريين ، نادراً ما أمكن تطبيقهما عملياً . فالظرفية تفترض ، أنَّ المسند البسيط أو الوصلة المسارية ، تتيج استناد العناصر على مساندها ، دون أن يكون هناك قيد يكبلها ، فهي تتحرَّك وتلدور بحرية تامة . إلا أنَّه من الواضح عملياً ، أنَّ هناك قيوداً تحدُّ من هذه الحركة ، إذ تتفاعل العناصر مع بعضها البعض وتتحكك ، مما سيؤدُّ ردود فعل توازنية صرفة ، تعمل حل رفع قيم العزوم . لقد أُنشئت صلاية الوصلات ، أو صلابتها الجزئية ، أو بمعنى آخر ، أقوى اعتبار المنشأة ، منشأة مستمرة ، تميز وتبني تصميم إنشائي ، يعتمد في حساباته ، قواعد وطرق رياضية ، كتلك المستخدمة في حساب المقاطع الصلبة ، ذات القدرة الكبيرة على التحمُّل ، انظر الشكل (٩) - (١) .

- 5.13 : إنَّ من الأهمية بمكان ، أن توصف أساليب توزيع عزوم المقاطع شديدة الصلابة ، على أسس فيزيائية . حيث يشترط الأسلوب هذا ، إظهار تشوهات المنشأة ، فيما لو فرضت عليها ظروف متباينة . بأمثال تلك الأساليب ، وبما يمكن أن نفهمه من عبارة توزيع العزوم ، أمكن فهم وإدراك فائدة استمرارية المنشأة ، إذ بها نستطيع إعادة توزيع عزوم الثني ، المتولدة عن الحمولة ، على كامل أرجاء المنشأة ، مما يتيح لنا استخدام مادة الإنشاء ، بشكل أفضل .

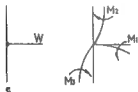


الشكل (٩ - ١ - أ): تكون للمناصر ذات الوصلة التابع والمتوازنة ، ميول انحنائية تساوي صفراً عند الوصلة .



الشكل (٩ - ١ - ب): وصلة الجسر بالعمود الداخلي :

$$M_2 = M_1 + M_3 + M_4$$



الشكل (٩ - ١ - ج): وصلة جسر بعمود خارجي :

$$M_2 = M_1 + M_3$$

الشكل (٩ - ١): وصلات مستمرة في أطر .



a

الشكل (٩ - ١ - أ): تشوه سلسلة من الجسور المحمولة على مساند بسيطة .



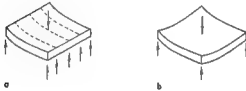
b

الشكل (٩ - ١ - ب): يظهر تشوه جسر مستمر .

5.14: في علم المصطلحات ، تعني نقطة الترابط أو التواصل ، تطوراً للتصميم الخطي وتوسعاً ، إلى أن يشمل بعدي المادة . إن التطور الحاصل والأكثر أهمية (وهو ما أشار إليه ميلارت) ، هو إقرار الأسلوب الانشائي القادر ، على فهم وإدراك الخصائص المشتركة لمجموعة من المواد المتجانسة . فائدة الانشاء المثالية ، هي مادة متجانسة ، أي بمعنى أن خواصها الفيزيائية متماثلة ، في أي نقطة من نقاط كتلتها المادية ، كما أن سوية خصائصها واحدة ، بمعنى أن سلوكياتها متماثلة ، في أي نقطة منها ، في حال تعرض أي نقطة من نقاط المادة ، لاجهاد ما .

5.15: من النقطة هذه ، انطلقنا نحو فهم أكثر عمقاً للمنشآت السطحية ، ومن تلك المفاهيم تمت وتعمّقت طرق تقصينا لأساليب التصميم الملائمة . إن بلاطة ميلارت المستوية ، هي مثال تقليدي ، يمكننا الاستعانة به ، لادراك مفهوم المنشآت السطحية . تحمل البلاطة على طول طرفين متقابلين ، مما يجعلها تنتشر عند تلقي الحمولة ، لتتحول البلاطة المستوية ، إلى بلاطة اسطوانية الشكل . ولتسهيل عملية التصميم وإجراء

الحسابات ، يمكن اعتبار البلاطة ، مجموعة من الجسور الخطية المتوازية . إن البلاطة المشددة من مادة ، سوية خصائصها واحدة ، وعمولة على مساند تتوزع على زواياها الأربع دون جسور ، هي فقط التي يتم تشوّهها متحوّلة إلى شكل كروي . ولهذا نستخدم مبادئ التصميم الخطي ، لتصميم عنصر المنشأة السطحية ، انظر الشكل (١٠ - ١) .

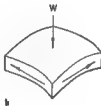
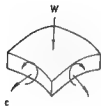


الشكل (١٠ - ١ أ): يظهر الشكل بلاطة نظامية

الشكل (١٠ - ١ ب): بلاطة تمثل كمتم من منشأة سطحية .

الاجهادات بأنواعها الثلاث هذه ، في كافة الاتجاهات ،
ولشكل القشرية أهمية نسبية ، في تعيين أيّ منها ، له تأثير
أكبر على المنشأة ، انظر الشكل (١١ - ١) .

تؤثر ضمن تلك المنشآت ، ثلاثة أنظمة من
الاجهادات الداخلية . أولاها ما تسببه الحمولات المباشرة
من إجهادات شد وضغط ، وثانيها ما يظهر عليها من
قوى قص، وثالثها ما يتأبها من عزوم ثني وفتل . تتشتر



الشكل (١١ - ١ - ب): إجهادات ناشئة من قوى قص .

الشكل (١١ - ١ - ج): إجهادات ناشئة من عزوم ثني وفتل

الشكل (١١ - ١ - آ) : إجهادات ناشئة من قوى مباشرة .

الشكل (١١ - ١): هناك ثلاثة طرق ، يمكن بها إظهار الإجهادات
الداخلية ، منشآت قشرية .

● مواد الانشاء :

* المواد المعدنية :

6.81 : الحديد مادة لا غنى عنها في العملية الانشائية ، إذ تستخدم في الانشاء ، كحادة مستقلة ، صالحة لتكوين وتصنيع عناصر الإنشاء الرئيسية ، كما تستخدم لتعزيز متانة العناصر الانشائية الأخرى ، كاستخدامه بديلاً لما تعجز عنه مواد كالبيتون ، البلوك ، والكتل الضخمة ، المستخدمة عادة في العملية الانشائية ، إذ يمتلك الحديد من الصفات والخصائص ، ما تمتلكه هذه المواد مجتمعة ، كما يعمل على تجميع خصائص ومواصفات تلك المواد ، بهدف جعلها تعمل معاً ، وكأنها مادة واحدة ، لما فيه مصلحة المنشأة .

يزود الحديد بمركبات كيميائية متنوعة ، لتحقيق مختلف أشكال المقاومة الذاتية ، ولسد احتياجات حسن مقاومته للظروف الطبيعية ، لذا ينتج الحديد بأشكال متنوعة ، تبدأ من الحديد الصفاحي ، إلى المقاطع الصلدة ، ذات الكثافة العالية ، مروراً بالمقاطع النظامية .

6.82 : نستطيع أيضاً ، وعلاوة على ما سبق ،

تصنيع الحديد على شكل قضبان دائرية أو مضلعة المقطع ، وذلك بغية انتاج عناصر غاية في المتانة ، تستخدم في تسليح البيتون مسبق الاجهاد ، او لتشكيل أقبال تستخدم في حمل المنشآت المعلقة . إن تطور تقنيات لحام وقطع الحديد ، أتاح لنا تصنيع أشكال ومقاطع بأبعاد غاية في التنوع ، بينما كان لظهور براغي الربط ، ذات المقاومة العالية ، أثر كبير في تطوير أساليب الربط والوصل ، ليس فقط في حقل الاعمال المعدنية ، ولكن أيضاً في كافة أنواع المنشآت . تمتد صلابة وصعوبة تشكيل القطع الحديدية ، واحدة من أهم سلبيات استخدام الحديد ، في العمليات الانشائية . وفي الواقع يحتاج الحديد ، إلى معالجات عالية المستوى ، تعمل على حماية المنشآت المعدنية من التآثر بالنيران ، وتجنب سطوحها التعرض للمصدأ والاهتراء .

* الخشب :

- 683 : الخشب الخام ، واحد من أقدم مواد الإنشاء المعروفة ، وذلك نتيجة لتوفره بكميات كبيرة ، ولسهولة الوصول إليه والتعامل معه . وعلى الرغم من اقتصاد استخدام الخشب ، حل تصنيع العناصر الانشائية الخشبية ، إلا أنّ ما لحق بهذه المادة مؤغراً من تحسينات ، جعلتها ثانية ، من مواد الإنشاء الرئيسية . لقد تمكنت الأخشاب من استعادة مكانتها في حقل الإنشاء ، نتيجة لفهمنا العميق لخصائصها من جهة ، وللتطور الشامل ، الذي لحق أساليب التصميم الخاصة بها من جهة أخرى . تمّ استنباط أساليب تصميم أكثر كفاءة ، بمساعدة ما تمّ اكتشافه من مواد فضالة ، قادرة على لصق القطع الخشبية ببعضها ، لصفاً محكماً متيناً ، وكذلك بمساعدة وصلات أكثر متانة ، تمّ استنباطها واكتشافها مؤغراً ، نتيجة التقدم الآلي الهائل ، والذي أفرز آلات ، نستطيع بها تشكيل الخشب وقطع أطراف منه ، بأي صورة نريد . حل أيّ حال ، لا يمكن اعتبار الخشب مادة متجانسة ، كما لا يمكن اعتبار خصائصها ، خصائص متوحدة السوية ، ومع ذلك ، تستخدم بنجاح في إنشاء المنشآت السطحية ،

وذلك لكون سائياتها هذه ، تتضاهل أمام إمكانيات الغراء ، وبعض المثبتات الأخرى ، في دعم الطبقات الخشبية المترابطة فوق بعضها البعض ، لإنتاج قطع خشبية ، تنتشر عروقها وأليافها في كافة الاتجاهات ، مما يعطيها متانة تفوق متانتها الطبيعية ، أضعاف المرات . إلا أنّ أكثر ما يجتثى منه ، عند استخدام الخشب ، كإداة من مواد الإنشاء ، هو كثرة تعرضها للتلف الناشئ عن الحشرات ، وعن بعض أنواع من الفطور ، التي تهاجم الخشب ، وتعيش على بنيته المادية .

• البيتون :

- 6.04 : لقد عرف الرومان البيتون كمونة ، وادركوا فوائده في حفل الانشاء منذ القدم . وقد نجد متعة في التأمل في الكيفية ، التي كان يمكن أن تتطور بها المباني ، فيما لو عرف البيتون بكافة خصائصه منذ القدم ، فانشأوا عناصر بسيطة تتشدد ضمن منشأة متناخمة ، تعمل بها قوى شد ، تؤثر إن أخفقت ، على متانة المنشأة ككل . وهذا ما يدهونا الى القول ، بأن البيتون كإداة ، كان لا بد لكي تصل إلى مكانتها الحالية ، من أن تنتظر الى أن يصل النظريون ، إلى مفهوم البيتون المسلح ، لما تمتاز به هذه المادة ، من مواصفات ومميزات فريدة . إذ بها أمكن إنشاء عناصر متجانسة ، وسوية خصائصها واحدة ، وهما شرطان كما رأينا ، تنتكمل بهما كفاءة أي عنصر ، من العناصر الانشائية الحاملة .

تنصف المادة هذه ، بسهولة تشكيلها بأي شكل نريد ، وذلك لكوننا نستطيع صبها في قوالب معدة من قبلنا ، وبالشكل الذي نريد . إلا أن هذه الصفة ، تطلبت أن يكون القائمين على تجهيز القوالب ، ومن ثم صب البيتون فيها ، من أولئك ذوي الخبرة المهنية العالية .

وكما نعلم ، تؤثر الظروف المحيطة بالموقع ، على متانة البيتون المصبوب ، مما يتطلب إشرافاً دائماً على عملية الصب ، وذلك من قبل اختصاصي خبير . تحتاج مادة البيتون ، إلى وقت كبير نسبياً ، قبل أن نستطيع وضعها موضع الاستعمال ، إذ تحتاج بعد صبها ، الى وقت يطول ويقصر حسب الظروف ، إلى أن يتصلب البيتون ، ويصل إلى حد متانته الحسائية .

- 6.85 : تمجأت سليات البيتون المصبوب في الموقع بوضوح ، بعد التطور السريع الذي شهده البيتون مسبق الصب . هذا وقد غالى الكثيرون ، بما يمكن أن يعطينا إيّاه البيتون مسبق الصب ، وهذا طبيعي ، إذ كثيراً ما يتبادل الناس ، بالأفكار الجديدة والجليلة ، والتي تلقى قبولاً عندهم .

إنّ حالة إعادة التقييم ، التي نشهدها اليوم ، سوف تعمل على وضع البيتون مسبق الصب ، في موضعه الصحيح ، كأسلوب قادر على حلّ الكثير من المشاكل الانشائية . إذ أمكن مؤخراً ، التغلب على سلبية البيتون مسبق الصب ، والمتنبئة ألولاهما ، بارتفاع الوزن الذاتي لوحدها الفاعلة ، والثابتة المتنبئة بالفراغ الكبير الذي يحتاجه تصنيع قطعها ، بما استجدّ من علوم هندسية ، وحلّ رأسها اكتشاف أسلوب التصميم المسمى بالبيتون مسبق الإجهاد ، واكتشاف البيتون عالي المقاومة ، مما أتى إلى الوصول إلى مواد جديدة ، لها خصائص ومواصفات فريدة ، كما لها سلوكيات ، تختلف بها وتتميّز عن سلوكيات البيتون العادية .

● الألتيوم :

- 6.86 : لم يستطع الألتيوم المشوب إلى اليوم ، أن يكون بديلاً عن الحديد ، في تصنيع العناصر الإنشائية الضخمة . إنّ كلفة استخراج الألتيوم ، وأسعاره المرتفعة ، إضافة إلى اتساع ما يمكن أن يتعرض له من تشوهات ، تحت وطأة الحمولات الحرارية ، تفوق إيجابياته المتنبئة بخفة وزنه ، ومقاومته العالية للصدأ . على أي حال ، قد يعتبر الألتيوم ، حلاً موقفاً للكثير من المشاكل ، خصوصاً عندما يكون لوزن المنشأة الذاتي ، أهمية تفوق ما للمحمولات الأخرى من اعتبار ، في عملية الحساب الانشائي . من المستحسن استخدام وحدات من الألتيوم المشوب ، على شكل مقاطع مستعرضة بسيطة ، ترتكب ضمن أطر فراغية ، لسقف تمتد فوق فراغ واسع ، مثال من الأعمدة .



الشكل (١٢ - ١) : مثال لشكله معدنية على شكل بناء مستطيل
الطرف ، حاد على دعامات مكشوفة مستعرضة ، مكشوفة ظاهرة
بالحمة ، توجد بتطور مستطيل .

● المواد البنائية :

6.07 : إن المنشآت البنائية ، المتعلقة على الحجر الطبيعي ، أيضاً من المنشآت القديمة ، ومواد تنفيذها أيضاً ، من أقدم المواد المعروفة . اقتصرَت المواد البنائية قديماً ، على الحجر فقط ، لما يمتاز به من قدرة ، على مقاومة الحمولات العالية . أما اليوم ، فقد أصبحت هذه اللفظة تشمل : البلوك ، والكتل البيتونية المسلحة وغير المسلحة .

● المواد البلاستيكية :

6.08 : ما زالت استخدامات المواد البلاستيكية ، كمواد إنشائية ، في طور التجربة ، وإن الأبحاث المستقبلية ، وما ستطوّر إليه خبرة القائمين عليها ، ستجعل هذه المادة ، ضمن مجموعة مواد الإنشاء ، ذات الأهمية الخاصة ، خصوصاً بعد التحسينات الكبيرة ، التي طرأت عليها في الآونة الأخيرة .

● الخاتمة :

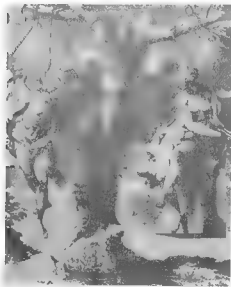
6.09 : يعتمد اختيار مادة الإنشاء الأفضل ، بشكل كبير ، على شكل المنشأة . ومع ذلك نرى اليوم ، أن أساليب التصميم المتطورة الحديثة ، أزلت حواجز

الشكل ، ومكنت من استخدام مواد الإنشاء الرئيسية ، لأي منشأة ، مهما كان شكلها ، وبهذا أصبح اختيار مادة الإنشاء ، مشروطاً بعوامل خارجة عن نطاق شكل المنشأة فحسب .

6.10 : يؤثر على اختيار مادة الإنشاء ، مجموعة من العوامل أهمها : شكل المنشأة ، متطلبات إنشاء الأساسات ، توافر المادة محلياً ، اعتبارات الموقع ، العوامل الإنشائية ، ومدة التنفيذ المتاحة .

الفصل الثاني

نظريات التوازن وأسس حساب مقاومة المواد



● المقدمة :

1.01 : لقد اعتقد معظم المعاريون ، أنَّ التحليل الإنشائي ، يعتمد أول ما يعتمد ، على الرياضيات الصرفة ، وعلى تطبيقاتها المختلفة . إلا أنَّ هذا ، ليس صحيحاً تماماً . إنَّ الرياضيات وقوانينها ، أداة هامة من أدوات الإنشائي ، إلا أنَّها لوحدها ، تعدُّ قاصرة ، وعاجزة عن حل كافة مسائل التحليل الإنشائي . إنَّ إعتبار المنشآت المتواجدة ، صنع نماذج مطابقة ، والتحليل الدقيق للنتائج ، كلُّ ذلك سيساعدنا أكثر ، على التقرب من الهدف المنشود .

1.02 : إضافة إلى ما ذكرنا ، ينبغي أن يكون واضحاً ، أنَّ أبعاد الطرق والأساليب الرياضية ، وأكثر التحاليل دقة ، لا تستطيع أن تحيى بأسلوب أكثر دقة ، من تلك التي تستطيع إفتراضات أساسية ؛ إذ أنَّ قوانين الرياضيات ، لا تستطيع أن تحل مشاكل ، تستطيعها بكفاءة أكثر ، نماذج صممت مشابهة تماماً لشكل البناء ، وهو في حالته النهائية ، تكون التحليل الرياضي يعتمد على بناء نموذج إنشائي مبهم ، بينما توحى إلينا حلول شكل النموذج الواقعي ، في كل حالة ، الطريقة التي يمكن بها حل المشكلة الإنشائية .

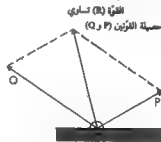
هذا وستناول في هذا الفصل ، نظريات التوازن ومعادلات الإجهاد البسيطة . متقلين منها ومستعينين بها ، في حساب ثوابت مقاطع عناصر البناء الحاملة ، نختتمين الجزء ، بجدول نموذجية ، تحوي ثوابت مقاطع الجسور الحاملة .

● نظريات التوازن :

● القوى :

2.01 - يتمدّد علينا إيجاد تعريف دقيق للقوة ، فهي معروفة من خلال تأثيراتها المتمثلة : بالتسارع ، الإجهاد ، وهكذا

2.02 - للقوة ثلاثة خصائص تميزها : الشدة ، الاتجاه ، ونقطة التطبيق . يمكننا تمثيل الخصائص الثلاثة عليه ، بخط مستقيم ، طوله يمثل اصطلاحاً شدة القوة



الشكل (٢-١) : تمثل القوة بخط مستقيم ، طوله متناسب مع مقدار القوة واتجاهها .

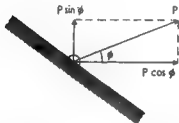
أنظر الشكل (٢-١) .

2.03 - يمكننا إرجاع قوتين أو أكثر ، نؤثران على نقطة واحدة ، تمثل القوتين معاً ، تسمى محصلة القوتين . نستطيع استنتاج شدة واتجاه محصلة القوتين ، بتطبيق القاعدة للسياة ، بقاعدة متوازي أضلاع القوى أنظر الشكل (٢-٢) .



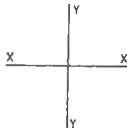
الشكل (٢-٢) : يوضح الشكل متوازي أضلاع القوى .

(XX) ، والثانية شدتها تساوي $(P \sin \theta)$ ، وإتجاه تأثيرها ،
 إتجاه المحور (YY) ، أنظر الشكل (٤-١) .
 2.05 : يمكن أن نحلّ محصلة القوى ، محلّ
 مركباتها ، والمكس بالعكس : إنّ عمليّة حلول القوة محلّ
 مركباتها ، ومركبات القوة محلّ عصبها ، لا تنفسد
 التوازنات الموضّحة في الفقرة (2.12) .



الشكل (٤-١) : يظهر الشكل طريقة تحليل القوى ، إذ نحلّ
 القوة (a) إلى مركبتها الأفقيّة والشالويّة .

2.04 : وبالمكس ، نستطيع تحليل أيّة قوّة ، إلى
 قوتين منفصلتين ، تدعيان مركّبتيّ القوّة ، تعملان وفق
 إتجاهين معطيين . مركّبتيّ القوّة المستتجبتين ، تعملان في
 مستر واحد فقط . القوّة (P) ، تمنع زاوية (θ) مع المحور
 الأفقي الموجّه (XX) ، أنظر الشكل (٣-٢) . نستطيع
 تحليل القوّة هذه إلى مركبتها ، فتكون القوّة الأولى ،
 مساوية في شدتها $(P \cos \theta)$ ، وإتجاه تأثيرها ، إتجاه المحور



الشكل (٣-٢) يوضّح الشكل خطّة نقلها اصطلاحياً ، يظهر
 له المحورين المتعامدين (X-X) و (Y-Y)

• المزم : 2.06 :

لإدراك مفهوم المزم ، لا بُدّ أولاً من فهم نظام مستوي القوى . إن النظام هذا ، يحدّد نفسه ببعدين ، ونستطيع تمثيله على قطعة من الورق بخطوط ، كما هو موضح في الفقرة (2.02) . لا توجد قوى تعمل خارج المستوي هذا ، أو ضمن مستوي الورقة .

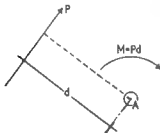
2.07 : يمكن أن نجد عزم قوة حول نقطة ، بإيجاد حاصل ضرب شدة القوة ، بالمسافة المحصورة ما بين النقطة هذه ، ونقطة تأثير القوة . وبالتالي يكون المزم (M)

للقوة (P) ، حول النقطة (A) ، هي ناتج جداء (P) ، الممثلة لشدة القوة ، بالمسافة (D) ، الممثلة لبعد خط تأثيرها عن النقطة (A) ، والمقاسة عمودياً على اتجاه خط التأثير (منحاهما) ، أنظر الشكل (2-5) . أي .

$$\text{المزم} = \text{القوة} \times \text{المسافة}$$

$$M = P \times D .$$

2.08 : ولكن في حال كانت القوى تعمل في ثلاث اتجاهات ، كما في حال النقطة (A) ، فإن محوراً عمودياً على مستوي الورقة ، لا بُدّ من إنشائه لفهم التطبيق .



الشكل (2-5) : يوضح الشكل طريقة أخذ مزم قوة حول نقطة ، وكما نشاهد ، يساوي هذا المزم : شدة القوة (p) × المسافة (d) .

• المزدوجة :

2.09 : تشكّل المزدوجة من قوتين ، متساويتين في

الشدة ، كل منها تساوي (P) ، متعامدا متوازيتين ،

ومتماكسين في الاتجاه ، والمسافة المحصورة فيما بينهما

تساوي (D) . إنّ العزم (M) ، للقوى تلك ، حول أيّ

نقطة (A) ، تعهد مسافة (X) ، عن أيّ منها ، تعطى

بالقاعدة التالية :

العزم = القوة × المسافة (X) + القوة [المسافة - D المسافة

(X) ≈ القوة × المسافة d

أو :

$$M = P \cdot x + p(d - x) = P \cdot d$$

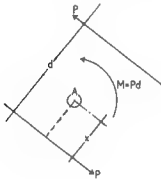
أنظر الشكل (٦-٧) . نلاحظ أنّ القيمة هذه ،

هي قيمة مستقلة ، عن موضع النقطة التي أخذ حولها

العزم . تشكّل القوتين مزدوجة ، أو عزمًا صالحًا . إنّ

قيمة المزدوجة ، في مستو معطى ، هي قيمة ثابتة ، في أيّ

نقطة من نقاط ذلك المستوي .



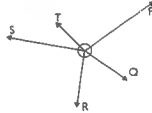
الشكل (٦-٧) تعرّف المزدوجة بأنها قوتان متساويتان في الشدة ،

متوازيتان ومتماكستان في الاتجاه .

• التوازن :

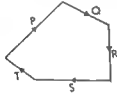
2.10 : يتج عن تطبيق قوة (P) ، في جسم حر ، كتلته (m) ، متواجد في فراغ ، تحرك الجسم بتسارع يساوي P/m . إن لم يتحرك الجسم ، أو تحرك بسرعة ثابتة ، في وسط لا احتكاك فيه ، كانت القوى المؤثرة على الجسم ، قوى متوازنة . ذلك يعني ، أن محصلة كافة القوى المطبقة تساوي صفراً .

2.11 : الافتراض الأول ، هو أن يكون الجسم بسيطاً جداً ، بسيطاً بما يكفي في الواقع ، لأن يمثل



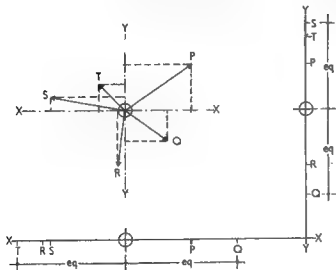
الشكل (٧-٢-أ) : تعمل القوى في نقطة متوازنة ، لذا كانت محصلتها تساوي صفراً .

بنقطة . إن كانت النقطة المادية متوازنة ، فمحصلة كافة القوى ، المطبقة عليها تساوي صفراً ، أنظر الشكل (٧-٢-ب) . عوضاً عن استخدام قاعدة متوازي أضلاع القوى ، الموضحة في الفقرة (2.03) ، نستخدم مضلع القوى ، الموضح في الشكل (٧-٢-ب) . وبالمقابل تحلل القوة إلى مركبتين ، الأولى منحناها على اتجاه المحور (x) ، والثانية منحناها على اتجاه المحور (y) .



الشكل (٧-٢-ب) : يظهر الشكل مضلع القوى ، حيث نقل قيمة واتجاه القوى ، بطول واتجاه الخطوط .

في كل اتجاه ، أنظر الشكل (٢-٨) . تشير موجودات مركبات القوة في الاتجاه (X) ، ومجموعها المساوي للصفر ، الى التحليل في الاتجاه (X) .



حصول مركبات القوى تلك أيضاً تساوي صفرًا ، وكلها تعمل في اتجاه ما كانت عليه جهتها قبل الإسقاط ، لذا كان المجموع الحسابي ، لكافة مركبات القوة تساوي صفرًا ،

الشكل (٢-٨) : يظهر الشكل مجموعة من القوى المؤثرة على نقطة ، كما يظهر مركباتها على طول المحورين (X-X) و (Y-Y) .

2.12 : إن لم تكن النقطة المادية في حالة توازن ، وكانت لمحصلة القوى المؤثرة عليها قيمة ، فإن قوة معادلة للمحصلة في شدتها ، ومعاكسة لها تماماً في الاتجاه ، تسبب للنقطة المادية ، ما يسمى بتوازنها . وتدعى القوة هذه ، بالقوة الموازنة . على سبيل المثال ، إن استندت قطعة بلوك وزنها (45) نيوتن ، على منسوب أعلى الطاولة ، فإن قوة معاكسة لها في الاتجاه ، تساوي (45) نيوتن ، تتولد في أسفل الطاولة ، أنظر الشكل (٩-٢) . عند التجربة نلاحظ ، أن قطعة البلوك لا تتحرك ، لأن الطاولة قد تولدت فيها ، رد فعل مساوٍ للفعول في الشدة ، ومعاكس له في الاتجاه . ذلك الطراز من القوى للموازنة تدعى ردود الأفعال . تلك التجربة تثبت القانون الأول في التوازن ، والذي نصّه :

لكل فعل رد فعل ، مساوٍ له في الشدة ، ومعاكس له في الاتجاه .

2.13 : الآن مستناول جسماً مادياً صلباً ، له أبعاد محدّدة ، ومتواجد في فراغ . القوة تعمل في الجسم هذا ، فتؤثر عليه بطريقة مغايرة ، من تلك التي وقعت على النقطة المادية . القوى تلك لا تطبق كلها ، عند نقطة

واحدة ، ولكن عند عدد من المواقع الواقعة حول النقطة ، وبالإمكان أن تعمل حتى في داخل الجسم . نستطيع تحليل القوى تلك ، على محاور ثلاث (Z,y,x) . هذا ، وإن مجموع مكونات القوى على المحاور الثلاث هذه ، ينبغي أن تساوي صفراً ، إن كان الجسم في حالة توازن ، أي أن الجسم للتوازن ، لا يتحرك نحو الأعلى والأسفل ، ولا حتى إلى أي جانب من الجوانب الأربع . يوجد على أي حال ، شكل إضافي للحركة ، لم نستقصه بعد ، ألا وهو حركة دوران الأجسام .



الشكل (٩-٢) : يوضح الشكل قانون التوازن الأول والذي ينص على أن لكل قوة ، أو لكل فعل ، رد فعل مساوٍ له في الشدة ومعاكس له في الاتجاه .

- 2.14 : إذا كان الجسم ساكناً لا يدور ، فإنَّ عزوم القوى على ذلك الجسم أيضاً متوازنة . في الأجسام المستوية ، أي الأجسام من ذوات البعدين فقط ، يمكن لنا أخذ العزوم حول أي نقطة منها ، بحيث يكون مجموع عزوم كافة القوى ، عند أي نقطة من نقاط الجسم ، مساوية للصفر . وفي الأجسام ذات الأبعاد الثلاثة ، تؤخذ العزوم حول أي محور من محاورها الثلاثة ، فنجد في حال السكون ، أنَّ مجموع العزوم واحد ، عند أي محور من المحاور الثلاثة ، ويساوي صفرًا .

- 2.15 : ينبغي أن تكون المعادلات الأربع المطبقة على جسم ذي بعدين ، في حالة توازن : ١ و ٢ : وتعني بتحليل القوى الى اتجاهين مختلفين .
٣ و ٤ : وتعني بأخذ العزوم حول نقطتين مختلفتين .
فقط ثلاثة من تلك المعادلات الأربع تبقى مستقلة .
وبالقوانين الجبرية ، يمكننا ومن خلال المعادلات الثلاث هذه ، معرفة قيم ثلاثة مجاهيل متباينة . إذا لم تكفي المعادلات هذه ، لإيجاد كافة القوى المطبقة على الجسم ، سميت الجملة ، جملة غير مقررّة سكونياً .

- 2.16 : يمكننا تحديد وحساب القوى المؤثرة على جسم متوازن ذي أبعاد ثلاثة ، من خلال مايلي :
١ - تحليل القوى المؤثرة على الجسم المادي ، بإسقاطها على محاور ثلاث .
٢ - يأخذ عزوم القوى حول المحاور الثلاث .
يمكننا من خلال المعادلات الست ، استنتاج قيم خمسة مجاهيل إن عرف سائرها .

• القوى والمزوم «الخلاصة» :

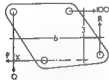
2.18 - هناك ثلاثة حقائق بدئية هامة ، ينبغي علينا

دوماً تذكرها :

١ - إن عبارة توازن قوتان في نقطة تطبيقها تعني أنَّ

القوتان متساويتان في المقدار ، ومتماكستان في الاتجاه ،

انظر الشكل (١١-٧) .



الشكل (١٠-٧) : يوضح الشكل المثال الوارد في الفقرة (2.17) ، حيث أظهر كيفية حساب القوى (R, Q, P) .



الشكل (١١-٧) : إنَّ القوتان المتوازنتان ، ينبغي عليهما أن يتساويا في الشدة ويتماكسا في الاتجاه .

مثال :

2.17 - نجد في المثال الموضح في الشكل (١٠-٧)

(٧) ، جسماً مستوياً . لكي يتوازن الجسم أفقياً ، لا بد من أن تكون مجموعة القوى المؤثرة أفقياً ، مساوية للصفر .

(ينبغي أن تكون محصلة القوى الأفقية مساوية

للصفر ، إن كان الجسم ساكناً) $P - 100 = 0$

$$P = 100$$

الآن لنأخذ قيم المزوم حول النقطة (X) ، وهي

نقطة تقاطع القوتين (Q, P)

$$R \times 6 - 100 \times 3 = 0$$

$$R = 50$$

أخيراً لنحلل مجموعة القوى على محور شاقولي :

$$R - Q = 0$$

$$Q = R$$

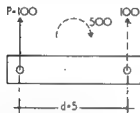
ولكن : $R = 50$

إذاً : $Q = 50$

في مثالنا هذا ، نجد ثلاثة مجهول «R, Q, P» ، لذا

كانت المعادلات الثلاث ، كافية لإيجاد مقاديرها ..

ما ، بقوة مساوية لها ، مطبقة على أي نقطة أخرى ، تقع في اتجاه موازي لاتجاه النقطة الأولى ، وبمعدا عن خطها الأصلي يساوي (d) ، مضاعفاً إليها عزم مزدوجة تساوي (pd) ، انظر الشكل (١٣-٢) .



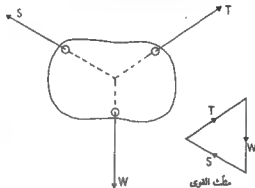
الشكل (١٣-٢) : يمكن استبدال قوة ما تعمل في نقطة ، بقوة أخرى مساوية لها في الشدة تعمل في نقطة أخرى ، مضاعفاً إليها عزم مزدوجة يساوي جداء شدة القوة بالمسافة المحصورة حاموياً ما بين نقطتي التأثير .

وفي مثالنا يمكن استبدال القوة (a) ، بقوة تساوي (b) مضاعفاً إليها عزم مزدوجة يساوي :

$$500 = 100 \times 5 = P \times 5$$

٢ - إن توازن ثلاث قوى ، تتلاقى مناحيها في نقطة واحدة يعني : أن قواها الثلاث ، تشكل معاً ، أخضاع مثلث القوى ، انظر الشكل (١٢-٢) .

٣ - نستطيع استبدال القوة (P) ، المطبقة على نقطة

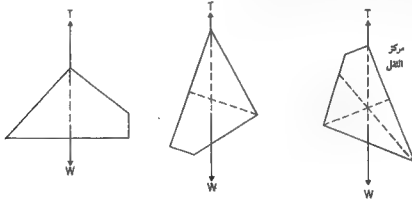


الشكل (١٢-٢) : لكي تكون القوى الثلاث متوازنة ، لا بد أن تشير اتجاهاتها ومقاديرها إلى مثلث القوى فضله .

● ميكانيكية الأجسام الصلبة :

2.19 - تعبر لفظة الجسم الصلب ، عن الكتلة المادية للجسم ، لذا فهي خاضعة للجاذبية الأرضية ، الممثلة بقوة تعمل على جرّ الجسم للأسفل ، تدعى وزن الجسم . إن علق الجسم بخيط ، فلا بدّ للخيط أن يدور ، الى أن يصبح منحى بقوة الشد الخاضع لها الخيط هذا ، هو ذاته منحى القوة الممثلة لوزن الجسم . يمر خطوط تأثير وزن

الجسم دوماً ، من نقطة واحدة بعينها ، تقع ضمن محيط الجسم ، حتى وإن تغيرت نقطة تعليق الخيط ، أنظر الشكل (١٤-٢) . تدعى النقطة هذه «مركز الثقل» ، فإذا استطعنا تكثيف كتلة الجسم ، لتصبح كلها في النقطة هذه ، فإنّ تصرفاتها تحت وطأة القوى الخارجية ، سيكون مشابهاً لتصرفات الجسم ككل .

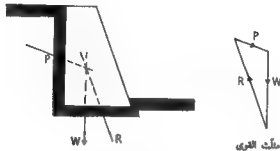


الشكل (١٤-٢) : يظهر الشكل كيفية إيجاد مركز ثقل جسم مادي .

- مثال :

2.20 : إن نموذج الجسم الصلب ، المناسب لمثلنا هذا ، هو جدار استنادي .

لنفترض أن الجدار الحقيقي ، يمتد حل كامل الكثف الترابي ، إلا أننا ماسندوه منه ، هو شريحة تقع في وسط الجدار هذا ، أنظر الشكل (١٥-٢) .



الشكل (١٥-٢) : يظهر الشكل مجموعة القوى المؤثرة على جدار استنادي ، حيث يمكن من خلال استخدام مقلت القوى ، ومن خلال معرفتنا لمقدار واتجاه التوزين (P) و (W) ، معرفة مقدار واتجاه رد الفعل (R) .

- 2.21 : هناك ثلاثة قوى ، تؤثر على شريحة الجدار

هذا وهي :

١ - وزن الشريحة الذاتي ، وقد مثلناها بالقوة

(W) ، وهي قوة نقطة تأثيرها ، هي مركز ثقل الشريحة .

٢ - قوة رفس التربة ، وهي قوة مثلناها بالقوة

(P) ، الواقعة خلف الجدار . تشير نظرية ميكانيك

التربة ، أن قوى رفس التربة ، تؤثر على الأجسام ، كما هو

موضح في الشكل (١٥-٢) .

٣ - قوة رد الفعل ، المتولدة عند نقطة تقع أسفل

قاعدة الجدار ، وقد مثلناها بالقوة «R» .

- 2.22 : إنَّ مناحي القوى الثلاث ، لا بدَّ أن تتقاطع

في نقطة واحدة . لذا كان لا بدَّ لمنحى رد الفعل ، من أن

يمر من نقطة تقاطع القوة (W) ، المثلثة لوزن الجسم ، مع

قوة رفس التربة ، المثلثة بالقوة (P) . يمكن لنا أن نحصل

على مقدار واتجاه القوة ، للمثلثة لرد الفعل ، من خلال

مثلث القوى ، أنظر ثانية الشكل (١٢-٢) . إذا لم يمتاز

رد فعل الجدار ، كما هو مرسوم ، قاعدة الجدار ، بل

سقط خارجها ، فإنَّ الجدار سيسقط حتَّى على الأرض .

- 2.23 : وبما هو جدير بالملاحظة أيضاً ، أنَّ الجدار

سيظلُّ قابلاً للسقوط ، حتَّى وإنَّ كان رد الفعل يمر من

قاعدة الجدار ، إذا لم تقع نقطة المروء هذه ، في وسط ثلث

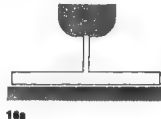
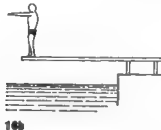
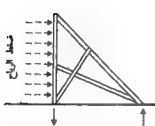
قاعدة الجدار هذا .

● مقاومة المواد :

3.01 إنَّ مَادرسناه الى الآن، يتعلَّق بنظريات التوازن، حيث تفعل القوى وتؤثِّر على المنشأة ككل. أمَّا ماستدرسه لاحقاً، فهو القسم الآخر من النظرية الإنشائية، المتعلِّق بالقوى الفاعلة ضمن المنشأة. ستعالج الفقرة التي نحن بصليدها، كل ماله علاقة بالقوى الفاعلة، ضمن مواد العناصر المكوِّنة للمنشأة.

● المنشأة :

3.02 : المنشأة هي تجسيد لمادة، تصاغ بطريقة ما، تجعلها قادرة على إحداث تغيُّرات في قيمة، موضع أو اتجاه قوى مألوفة، بغية الإنتفاع بها، أنظر الشكل (١٦ - ٢).



الشكل (١٦ - ٢ ج) : يظهر الشكل تمثُّل اتجاهات القوى

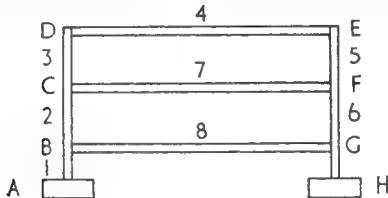
الشكل (١٦ - ٢ أ) : يساهم نموذج المنشأة هذه، في اختزال شدة القوى.

الشكل (١٦ - ٢ ب) : يظهر الشكل تمثُّل مواضع تأثير القوى.

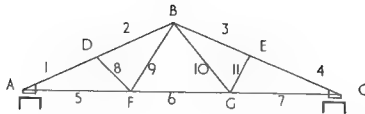
الشكل (١٦ - ٢) : يظهر الشكل نماذج لخشبات معروفة.

متجانستين . إنَّ العناصر الإنشائية ، إمَّا أن تكون عناصر منشورية وموصولة الى عقدتين ، أو على شكل نقاط ، تتلاقى عندها عناصر أخرى ، أنظر الشكل (١٧ - ٢) .

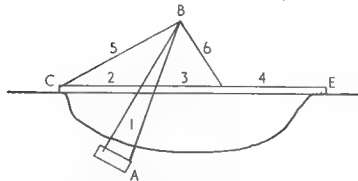
- 3.03 : تتألف المنشأة عادة ، من عناصر إنشائية ، كما يصنَّع العنصر الإنشائي بدوره ، وفي أغلب الأحيان ، من مادة إنشائية واحدة ، وفي معظمها ، من مادتين



الشكل (١٧-٢): يظهر الشكل هيكل بناء .



الشكل (١٧-٧-ب): يظهر الشكل سطحاً مؤلفاً من جوائز شبكية.



الشكل (١٧-٧-ج): يظهر الشكل حبل لوكيل تثبيت الصاري ، حيث يرمز للمفرد بالحرف ويشار إلى العناصر بالرقم ، أنظر الفقرة

يدعى خط اتصال العقد هذه ، خط المحور الطولي للعنصر الإنشائي ، أما مقطع العنصر ، فهو شكل مستو ، ينشأ عن قطع العنصر ، وفق مستويات عمودية ، على المحور الطولي . يدعى العنصر ، عنصراً منشورياً ، إذا كانت مقاطعه لا تتغير ، على كامل طول محور العنصر الطولي ، انظر الشكل (١٨-٢) .



٣٥٤ : يمكن أن تتألف المنشأة من كتل عشوائية ، ذات مكونات شتى ، أو من عناصر لا منشورية ، تراكيبيها متغيرة ، إلا أنّ الغالبية العظمى من المنشآت ، تتلوج ضمن التصنيف المعياري . هذا ، وإنّ تحليل نماذج للمنشآت الأخرى الشائعة ، لن ندخله في دراسات الفقرة هذه .

الشكل (١٨-٢) : يظهر الشكل مثلاً لعنصر منشوري ، حيث تكون مقاطعه المربعة ، مقاطع ثابتة .

* الإجهاد :

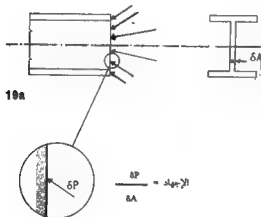
3.88 : عند دراسة القوى المؤثرة على مقطع العنصر ، نجد من الضروري أن نقسم ، ما يساعد على إدراك مفهوم الإجهاد . إن كانت المنة المدروسة ، عبارة عن مساحة مقطع صغيرة جداً ، فلنأخذ نستطيع أن

الشكل (٢-١٩) : يظهر الشكل القوى العاملة على المقطع

الشكل (٢-١٩) (ب) : يظهر الشكل تأثير القوى على مساحة صغيرة تساوي (8A) .

نفترض ، أن القوة المؤثرة عليها ، تتوزع على جزئياتها بالتساوي ، وبالتالي سيكون الإجهاد الواقع على المساحة الصغيرة (8A) هذه ، مساوياً لحاصل قسمة (8P) ، على المساحة المساوية لـ (8A) ، أنظر الشكل (٢-١٩) أي :

$$\frac{8P}{8A} = \text{الإجهاد}$$

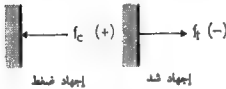


- 3.06 : تؤثر قوى الإجهادات عادة ، حل سطح المقطع ، وفق زوايا ، لذا يستحسن تحليل تلك القوى إلى مركباتها ، أنظر الشكل (٢٠-٢).
 (١) الإجهاد المباشر (P) ، وهو العامل بشكل عمودي حل مستوي المقطع .
 (٢) إجهاد القص (S) ، وهو العامل موازي لسطح المقطع ، أو في مستوي اللقطع .



الشكل (٢٠-٢) : تحليل قوة الإجهاد إلى قوتين ، قوة مباشرة (P) تعمل عامودية على المقطع ، وقوة تعمل موازية للمقطع أو في مستوي المقطع ، تستل إجهاد القص (S) . أشير إلى إجهاد القص وجهته على المخطط ، يسهم رأسه وحيد الطرف

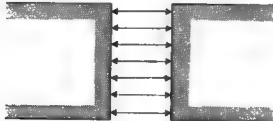
- 3.07 : تسبب الإجهادات المباشرة ، ضغطاً أو توترات شد في المقطع ، وذلك استناداً إلى نوعية ما تنفي إليه تلك الإجهادات ، من تأثيرات نلاحظها على طول المتصل ، فإن تقلص كانت الإجهادات ، إجهادات ضغط ، وإن طال كانت الإجهادات إجهادات شد . تكفي إجهادات الضغط ، بالإجهادات الموجبة ، بينما تكفي إجهادات الشد ، بالإجهادات السالبة ، أنظر الشكل (٢١-٢-٢١) .



الشكل (٢١-٢-٢١) : يظهر الشكل الإصطلاحات المتداولة لتفريق ما بين إجهادي الضغط والشد .

- 3.08 : من الأهمية بمكان ، التمييز ما بين الإجهاد الفاعل على المقطع ، وبين الإجهاد المساوي له في القيمة ، والمعاكس له في الاتجاه ، أنظر الفقرة (2.12) . وكما وضحنا في الفقرة (3.03) ، ينتج للمقطع ، من اقتطاع عنصر الإنشاء ، وفق مستوي عمودي على المحور الطولي . إنَّ اقتطاع العنصر وفق هذا المستوي ، يظهر لنا وجهين متقابلين ، كل وجه منهما يؤثر على الآخر ،

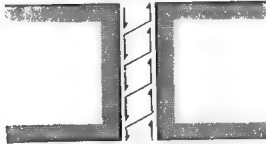
بإجهادات متساوية في القيمة ، ومتعاكسة في الاتجاه ، ونحن نقصد هنا من التعاكس في الاتجاه ، أنَّ الإجهاد لتجه من اليسار إلى اليمين ، والمؤثر على الوجه اليميني للمقطع ، يشتمل أيضاً على إجهاد متجه من اليمين إلى اليسار ، مساوياً له في القيمة ، ويؤثر بدوره على الوجه اليساري للمقطع ، أنظر الشكل (٢١-٢-ب) . على أيِّ حال ، يقوم كلا الإجهادين ، الموضحين في الشكل هذا ،



الشكل (٢١-٢-ب) : يظهر الشكل إجهاد الضغط على طرفي المقطع ، حيث تمثل كل قوَّة بالجهادين متقابلين .

على تقليص طول العنصر ، لذا يدعيان كليهما ، إجهادات ضغط ، إنَّ اتجاه إجهادات القص ، نحو الأسفل ، على الوجه اليساري للمقطع يعني ، أنَّ هناك إجهادات قص ، تنجه نحو الأعلى ، تؤثر على الوجه اليميني للمقطع ، انظر الشكل (٢١-٢-ج) .

- 3.69 : من المناسب عادة ، اعتبار الإجهادات ، قوى تؤثر على المقطع ، وليست بقوة تنطلق منها إلى الخارج . إذا كانت كافة القوى ، ذات القيم البسيطة جداً ، تؤثر مباشرة على المقطع ، فإنه بالإمكان جمعها ، لتكون معاً قوة مقدارها (P) ، هي الفاعلة في المقطع .



الشكل (٢١-٢-ج) : يظهر الشكل إجهادات القص على طرفي المقطع ، حيث يمثل إجهاد القص وجهه نحو الأعلى على الوجه اليميني ، ونحو الأسفل على الوجه اليساري .

- 3.10 : إن مقدار القوة الضخيل ($8A$) ، المؤثرة على مساحة صغيرة جداً ، يساوي إلى ($P \times 8A$) ، وذلك استناداً إلى المعلومات الواردة في الفقرة (3.05) . يمكننا عند إضافة القوى الصغيرة هذه ، إلى بعضها البعض ، كتابة العلاقة التالية :

$$P = \sum (P \times 8A)$$

إن الإصطلاح (\sum) ، يعني أننا نريد أن نجمع الكميات الواردة ضمن القوس ، كما نعلم به ($8A$) ، قطعة من المقطع ، مساحتها صغيرة جداً .



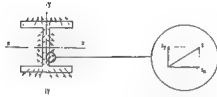
الشكل (٢-٢٢) : يمكن لنا تجميع الإجهادات المباشرة الواقعة على المقطع ، لتخلص منها إلى قوة مباشرة كلية تساوي ($8P$) .

- 3.11 : يمكننا أيضاً تجميع قوى القص ، أنظر الشكل (٢-٢٣) . كما نعلم تنطلق قوى القص ، المنبثقة من مستوي المقطع ، في كافة الاتجاهات ، لذا يستحسن تحليل القوى هذه ، إلى مركبتها الشاقولية والأفقية ، وذلك على المحورين ($x-x$) الأفقي و ($y-y$) الشاقولي . وبذا يمكننا كتابة العلاقاتين التاليتين :

$$S_x = \sum (S_x \times 8A)$$

$$S_y = \sum (S_y \times 8A)$$

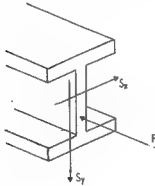
$$S = \text{قوة القص الإجمالية}$$



الشكل (٢-٢٣) : تحليل إجهادات القص الواقعة على المقطع إلى مركبتين شاقولية وأفقية .

• الشكل المنتمي للمقطع :

- 3.13 : لتدرس المقطع الموضح في الشكل (٢٥-٢) . في البدء ، ننشئ المحورين (X) و (Y) ، بحيث يشكلان محورين تناظر للمقطع ، أي يصبح لكل نقطة من نقاط المقطع ، نظيراً لها ، بحيث تقع كلا النقطتين ، على طرفي محور التناظر . إن مساحة النقطة هذه تساوي (BA) .



- 3.12 : تحولت الآن القوى الثلاث الصغيرة ، المؤثرة على المقطع ، إلى ثلاثة قوى ، ذات ثلاثة اتجاهات متعامدة : S_x ، S_y ، وأنظر الشكل (٢٤-٢) . على أي حال ، إننا لا نعرف نقاط تأثير تلك القوى ، لذلك يعتمد على التوزيع الحقيقي والفعلي للإجهادات ضمن المقطع . للسير قديماً في هذه الدراسة ، لا بد من دراسة الشكل المنتمي للمقطع :

الشكل (٢٤-٢) : يظهر الشكل القوى العاملة على المقطع بشكلها النهائي حيث : S_x القوة المباشرة ، (S_y, S_z) قوى القص

$$G_y = \sum (x \times \delta A).$$

$$G_x = \sum (y \times \delta A).$$

• مركز المساحة :

- 3.16 : إن كان المقطع متناظراً حول المحورين

(x, y) ، فإن لكل مساحة صغيرة ، معادلاً لها على

الطرف الطرف المقابل للمحور ، وبالتالي فإن قيمتي (G_x)

و (G_y) تساويان الصفر .

- 3.14 : إذا أضيفت مساحة النقاط إلى بعضها

البعض ، فكانت مساحة المقطع تساوي :

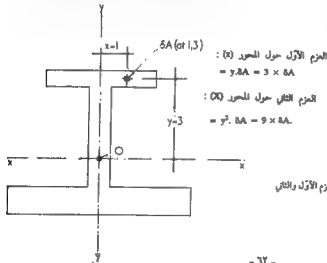
$$A = \sum \delta A.$$

- 3.15 : إن قيمة عزم المساحة الصغيرة حول المحور

xy ، هي $(x \times \delta A)$. إذا أضيفت المزوم هذه ، إلى

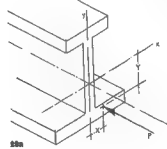
بعضها البعض ، أعطتنا المزوم الأول لمساحة المقطع ،

ولنرمز له بالرمز (G) . إذاً :



الشكل (٢٥ - ٢) : يظهر الشكل كيفية استنباط المزوم الأول والثاني لمساحة المقطع .

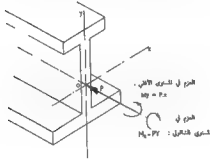
حتى في حالة كون المقطع ، لا يحوي على محور للتأليل ، فإنه يمكننا دوماً ، اختيار المحورين (x) و (y) ، بحيث يكون عزم المساحة الأولي حولها يساوي الصفر . يدعى أصل المحورين هذين (وهو نقطة تقاطعهما) ، مركز مساحة المقطع . إذا اقتطع شكل المقطع المرسوم حل ورق المقوى ، من الورقة ، كان مركز ثقل الشكل هذا ، هو ذاته مركز المساحة . إن هذا يدعونا بالتالي للقول ، أنه إذا كان العزم e يساوي صفراً ، حول محورين مارين من النقطة هذه ، فإنه أيضاً يساوي صفراً ، حول أي محورين آخرين ، يصنعان أية زاوية بينهما ، ومارين أيضاً من ذات النقطة .



الشكل (٢٦ - ٢ - أ): يعمدُ العنصر الإشعاعي الأفقي لقوة مباشرة (P).

3.٢7 - يفترض أن يمر المحور الطولي ، لعنصر إشعاعي متناظر ، خلال مراكز مساحة كافة مقاطع العنصر .

3.٢8 - في عنصر إشعاعي أفقي بسيط ، كالمرشح في الشكل (٢٦ - ٢) ، يمر للمحور الطولي ، من مركز مساحة المقطع . أما المحورين الأفقي (x) ، والعمودي (y) ، فلا يد لها أيضاً ، من أن يمرّا من نقطة مركز المساحة ذاتها .



الشكل (٢٦ - ٢ - ب): تستبدل القوة (P) ، بقوة تساويها في الشدة ، تعمل في مركز المساحة ، ويمرّ من مركزين (x و y) ، تسميان بمركز الثقل .

• عزوم القتل :

- 3.19 : استطعنا من خلال معلومات
الفقرة (3.12) ، ومن ملاحظة الشكل (٢٤ - ٢) ،
اختزال كافة القوى المؤثرة على مقطع العنصر ، الى ثلاثة
قوى أساسية ، متعامدة الإتجاهات وهي : «P» ، «Sx» ،
و «Sy» . سنعالج وتدارس القوتان (Sy و Sx) ، في فقرة
لاحقة . أما الآن فسنناول بالدرس والتحليل ، القوة
المباشرة (P) .

- 3.20 : عندما تجمع كافة العناصر الصغيرة المكوّنة
للقوة المؤثرة على المقطع ، الى بعضها البعض ، فإننا نجد
أن قيمة محصلتها تساوي (P) ، انظر الشكل (٢٢ - ٢) إن
موضع نقطة تأثير محصلة القوى هذه غير معلومة . لنفترض
أن القوة هذه تعمل ، عند نقطة تقاطع المحورين
(x و y) ، انظر الشكل (٢٦ - ٢ - 1) .

- 3.21 : كما وضعنا في الفقرة (2.18) ، نستطيع
استبدال قوة ما ، تؤثر على نقطة ما ، بقوة مكافئة لها
بالقيمة ، تؤثر في نقطة أخرى ، اذا أضيف لتلك القوة
الأخيرة ، عزم مزدوجة تساوي جداء القوة ، بالبعد ما بين
النقطتين . في الحالة التي بين أيدينا ، يمكننا استبدال

القوة ، التي يعدها عن المحور الأفقي (x) ، وعن المحور
الشاوولي (y) ، بقوة تعمل في نقطة تقاطع المحورين (O) ،
حيث (O) ، هي مركز مساحة المقطع ، مضافاً إليها عزمي
مزدوجة ، قيمتها (Px) و (Py) ، تعملان في المستويين
الأفقي والشاوولي على التوالي ، انظر الشكل
(٢٦ - ٢ - ب) .

- 3.22 : كافة العناصر البسيطة المكوّنة للإجهاد
المباشر المؤثر على المقطع ، يمكن لنا الآن استبدالها بقوة
مقدارها (P) ، تمر من مركز مساحة المقطع ، مضافاً إليها
مزدوجتين . تدعى المزدوجتين هاتين ، عزمي التي ، حيث
يرمز للعزم العامل على المستوي الأفقي بـ (Mx) ، ولذلك
العامل على المستوي الشاوولي بـ (My) .

- 3.23 : يساهم كل عنصر بسيط من مكونات الإجهاد ، في تشكيل كل معادلة من معادلات الإجهاد .
 يمكننا تنفيذ مكونات الإجهادات الى مايلي :
 (f) : ونقصد بها جزء من الإجهاد ، اذا أضيف الى بعضه البعض ، كانت عُمَلَتها القوة (P) ، العاملة في مركز مساحة المقطع .
 (f₀₀) : ونقصد بها جزء من الإجهاد ، ان جمعت الى بعضها البعض ، لكانت حصيلتها (My) .
 إن الأجزاء المنفصلة هذه ، تكون كالة اشكال الإجهادات العاملة في نقاط متماثلة ، لذلك يمكن ان نكتب :

$$f = f_0 + f_{00} + f_{0y}$$

- 3.24 : من التعريف التي تناولتها الفقرة السابقة ، يمكننا كتابة المعادلات السابقة ، بصيغ جليدية ، انظر الشكل (٢٧ - ٢) :

$$P = \Sigma f \times \delta A.$$

$$M_x = \Sigma f \times y \times \delta A.$$

$$M_y = \Sigma f \times x \times \delta A.$$

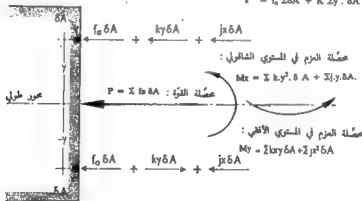
- 3.25 : إن براهين الافتراضات التالية ، مستنابلها في الفقرة (3.47) ، اذ لم نجد من المناسب تناولها هنا ، لكونها تعتمد على مفهوم الانفعال «التوتر» ، والذي لم نتناوله بعد . في هذه الفقرة ، سنسلم بصحة الافتراضات التالية :

- ١ - (f₀) : هي ثابتة في قيمتها على كامل نقاط المقطع .
- ٢ - إن قيمة (f₀₀) ، لها علاقة ببعد نقطة تأثير الإجهاد هذا ، عن المحور (x) .
 ذلك يعني أن : $f_{00} = K \cdot y$ حيث (K) هي قيمة ثابتة .
- ٣ - ترتبط بشكل مشابه ، قيمة (f_{0y}) ، ببعد نقطة تأثير الإجهاد هذا ، عن المحور (y) . وهذا يعني أن : $f_{0y} = j \cdot x$ حيث (j) هو ثابت آخر .

$$M_x = f_0 \sum (y \cdot \delta A) + K \sum (y^2 \cdot \delta A) + j \sum (x \cdot y \cdot \delta A).$$

$$M_y = f_0 \sum (x \cdot \delta A) + k \sum (x \cdot y \cdot \delta A) + j \sum (x^2 \cdot \delta A).$$

إن المعادلات هذه ، نرى توضيحاً لها في الشكل (٢٧-٢٧) .



الشكل (٢٧-٢٧) : يوضح الشكل عكساً للمعادلات الموضحة في الفقرة (3.26) .

3.26 - إذا أعدنا صياغة المعادلة المخرجة في الفقرة

(3.23) ، بتعويض كلٍّ مما يساويه ، نجد أنَّ :

$$f = f_0 + K \cdot y + j \cdot x$$

يمكن أيضاً أن نستبدل معطيات المعادلات الثلاث

الواردة في الفقرة (3.24) ، بما استجد لها من قيم جديدة ،

لتصبح كمايلي :

$$P = f_0 \sum \delta A + K \sum y \cdot \delta A + j \sum x \cdot \delta A$$

3.27 : يمكن من خلال معطيات الفقرة (3.16) ، اثبات ان قيمة $\Sigma(x, y)$ كلاً من :

$\Sigma(x, y)$ و $\Sigma(y, x)$ تساوي الصفر ، لكون المحورين (x و y) ، يمران عبر مركز مساحة المقطع .

3.28 : إن ما كان صحيحاً في الفقرة السابقة ،

ليس صحيحاً فيما يخص القيمتين : $\Sigma(x^2, y)$ و $\Sigma(y^2, x)$ ، إذ تدعى القيمتين هاتين ، بالمزوم الثانية لمساحة المقطع ، او تسمى أحياناً بمزوم العطالة ، ويرمز لها بالرمزين $(I_x \text{ و } I_y)$.

3.29 : ان قيمة الحد $\Sigma(x, y, x, y)$ يسمى بناتج العطالة ، ويرمز له بالرمز (I_{xy}) .

3.30 : يمكننا الآن صياغة المعادلات المدرجة في

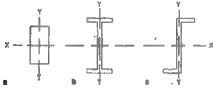
الفقرة (3.26) ، على الشكل التالي :

$$\begin{aligned} P &= I_x \cdot A \\ M_x &= K \cdot I_x + j \cdot I_{xy} \\ M_y &= K \cdot I_y + j \cdot I_{xy} \end{aligned}$$

هذه هي معادلات المزوم الأساسية ، بشكلها العام . في معظم الأمثلة العملية ، الهادفة الى حساب

المزوم المؤثرة على المقاطع ، نجد أن قيمة الرمز (I_{xy}) يساوي صفراً . وذلك نتيجة لكون معظم المقاطع ، متناظرة حول محور واحد على الأقل ، وذلك يعني ان الحد الموجب المساوي لـ $\Sigma(x, y)$ ، يقابله قيمة سالبة مساوية له في المقدار .

على أي حال ، فان مقطعاً مشابهاً لذلك الموضح في الشكل (٤ ~ ٣ - حـ) يعدّ مقطعاً غير متناظر ، حول محور قطري ، ولهذا توجد قيمة عددية للرمز I_{xy} . تنعكس القيمة العددية هذه ، على شكل عزوم ثقل ، تعمل على تقليص مقاومة العنصر الى حد بعيد .



الشكل (٤ - ٣) : ويظهر فيه الحالات التي يمكن فيها أن يتطابق مركز الثقل ، مع مركز مساحة المقطع .

3.31 : يمكن لأي مقطع ، اختيار محاور مارة من مركز المساحة ، لكي تتحول قيمة الجداء المرموز له بالرمز (I_{xy}) ، إلى مقدار يساوي الصفر . إن المحاور هذه تسمى المحاور الرئيسية . إن معادلات العزم ستتحول نتيجة المعطيات الجديدة ، إلى مايلي :

$$P = I_0.A$$

$$Mx = K.I_x$$

$$My = J.I_y$$

3.32 : يمكننا من الفقرة (3.25) ، استخلاص قيمة كل من الثابتين $(K و J)$:

$$k = \frac{I_{0x}}{y}$$

$$j = \frac{I_{0y}}{y}$$

لذا يمكننا إعادة صياغة المعادلات الأساسية لتصبح :

$$I_x = \frac{P}{A}$$

$$\frac{I_{0x}}{y} = \frac{Mx}{I_x}$$

$$\frac{I_{0y}}{x} = \frac{My}{I_y}$$

3.33 : إذا كان المطلوب ، إيجاد الإجهاد الأعظمي الواقع على مقطع العنصر ، فإنه توجد لحساب ذلك ، معادلات سنحول التوصل إلى صياغة لها . لنفترض الحالة التي يكون فيها العزم مأخوذاً حول المحور (x) . فيكون الإجهاد مرتبط بالمسافة المحصورة ما بينه وبين المحور (x) ذلك ، وبالتالي فإن الإجهاد الأعظمي ، يحدث عند نقطة من نقاط المقطع ، واقعة على مسافة أبعد ما تكون عن المحور (x) . إذا كانت (y_1) ، هي بعد النقطة الأبعد عن المحور (x) فإن :

$$f_{bx \max} = \frac{Mx}{I_x}$$

$$f_{bx \max} = \frac{Mx}{Z_x} \quad \text{إذا :}$$

$$Z_x = \frac{I_x}{y_1} \quad \text{حيث :}$$

- 3.34 : وكما أشرنا في النقرة (3.31) ، إنَّ المعادلات بشكلها هذا ، لا تكون صحيحة ؛ إلَّا إذا كان المقطع متماثلاً حول واحد أو أكثر من المحاور الشاقولية أو الأفقية ، كالجسور المشابهة بشكلها لحرف «e» ، كالمجاري ، الكرات الصلدة ، المقاطع المقرَّعة مستطيلة الشكل ، وهكذا . . .

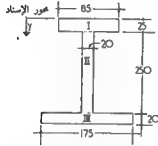
هذا ، واستكمالاً للبحث ، لابدّ من الإشارة ، إلى أنَّ المقاطع اللامتائلة ، ناتج عزم عطالتها لا يساوي صفراً ، إلا إذا كان محور العزم هو محور رئيسي .
- 3.35 : تحوي الكتيّبات الصادرة عن المصانع المتخصصة بتصنيع المقاطع المعدنية ؛ جداول تحوي قيم Z_x , Z_y (A , I_x , I_y . تستخدم معظم المواد الأخرى ، على شكل مستطيلات أو دوائر بسيطة ، وذلك بغية الحصول على قيم المعادلات تلك ، من الجداول ماثرة . هذا ، وسنذكر في الفصل الثالث من الجزء هذا ، القيم الثابتة لبعض الأشكال هذه .

من دون اللجوء إلى قوانين رياضية معقدة ، يمكننا ببساطة ، ومن خلال قواعد بسيطة ، حساب القيمة الثابتة تلك ، والمعادلة لبعض المقاطع غير الواردة في الكتيّبات

الصادرة عن المصانع المتخصصة ، بحيث تؤخذ قيمتي (I_x) و(I_y) المأخوذة دوماً ، حول محور ملو من مركز مساحة المقطع ؛ حول محور آخر مواز للمحور (x) ، ويبعد عنه مسافة (r) ، مستفيدين لتحقيق ذلك ، من العلاقة التالية :

$$I_{xx} = I_x + A r^2$$

لكامل مساحة المقطع ، مأخوذاً حول محور الإسناد . إذا
نقسم العزم الأولي لكامل مساحة المقطع ، حل مساحة
المقطع الإجمالية ، حصلنا على بعد مركز مساحة المقطع عن
محور الإسناد .



الشكل (٢ - ٢٨) : مثال يوضح كيفية إيجاد العزم الثاني للمساحة ،
أو عزم خطالة المقطع . راجع الفقرات من (3.31) لـ (3.39) ، واللوحة
(١ - ١) للوقوف على طريقة الحساب .

● طريقة إيجاد عزم المساحة الثاني :
3.36 : لحساب العزم الثاني لمساحة المقطع الموضح في
الشكل (٢٨ - ٢) ، نُبحث أولاً عن موضع مركز
المساحة . ينبغي أن تقع النقطة المثلثة لمركز المساحة ، بما
أن المقطع متناظر حول محور شاقولي ، حل محور التناظر
هذا ، وبحيث يبعد مسافة (٢) ، عن محور الإسناد الواقع
في أعلى المقطع . نقسم المقطع إلى ثلاثة مستطيلات
رموزها (I) ، (II) و (III) . يوضح الجدول (١ - ٢)
الحسابات الواجب إجراؤها . من تتبع الجدول ، نلاحظ
أنه قد جرى في العمود الأول ، حساب مساحة كل جزء
من أجزاء المقطع ، ليصار بعدئذ إلى جمع المساحات هذه ،
إلى بعضها البعض ، للحصول على المساحة الإجمالية
للمقطع .

جرى في العمود الثاني ، حساب العزم الأول لكل
جزء من أجزاء المقطع ، مأخوذاً حول محور الإسناد ، ويتم
لذا ذلك ، بضرب المساحة بالمسافة المحصورة ، ما بين مركز
مساحة كل جزء من أجزاء المقطع ، وبين محور الإسناد .
إن مجموع الكميات الجزئية هذه ، ستعطينا العزم الأول

رقم المساحة	المساحة = A	عزم المساحة الأولي حول محور الأساس Ay =	عزم العطالة لكل جزء حول محور مار من مركز مساحة الجزء Ix =	عطالة كل جزء حول محور مار من مركز مساحة المقطع ككل Ay =	عطالة المقطع ككل
I	$85 \times 25 = 2125$	$2125 \times 12.5 = 26602$	$\frac{85 \times 25^3}{12} = 110877$	$2125 \times 154.5^2 = 50724000$	50.8×10^6
II	$20 \times 250 = 5000$	$5000 \times 150 = 750000$	$\frac{20 \times 250^3}{12} = 26042000$	$5000 \times 17^2 = 1445000$	27.5×10^6
III	$175 \times 20 = 3500$	$3500 \times 285 = 997500$	$\frac{175 \times 20^3}{12} = 117000$	$3500 \times 118^2 = 48734000$	48.8×10^6
الجمع	10825	1774082			$I_x = 127.1 \times 10^6$
$y_x = \frac{\sum Ay}{\sum A}$		$= \frac{1774082}{10825} = 164$			

اللوحة (١-٢): يوضح الشكل حساب عزم عطالة المقطع الموضَّح
في الشكل (١-٧٨).
راجع الفقرة (٥.٣) للوقوف على طرق الحساب.

3.37 : المرحلة الثانية من الحسابات ، تبدأ بحساب عزم عطالة كل جزء من أجزاء المقطع ، حول المحور المار من مركز مساحتها . للحصول على عزم عطالة كل جزء من أجزاء المقطع ، حول محور الإسناد ، يضاف لعزم عطالة كل جزء من أجزاء المقطع ، حول محور مار من مركز مساحته ، ناتج المقدار (Am^2) ، أنظر الفقرة (3.35) . تجمع بعدئذ ، عزوم عطالة كافة أجزاء مساحة المقطع حول محور الإسناد ، إلى بعضها البعض ، للحصول على عزم عطالة مساحة المقطع الإجمالية ، أو العزم الثاني ، مأخوذاً حول محور الإسناد .

3.38 : كما رأينا ، يمكن الحصول على قيمة عزم عطالة المقطع ، بهذا الأسلوب ، حول محور ما ، إذا كنا نستطيع حساب كل من : مساحة المقطع ، عزم عطالتها حول محور مار من مركز المساحة ، وكان مركز مساحة المقطع معلوماً . نحتاج الأشكال الأخرى ، لمعرفة عزوم عطالتها ، معرفة بقوانين التفاضل والتكامل ، وهي من القوانين المعقدة ، لذا لن تناولها في هذه الموسوعة المختصرة ، ونخرجها عن نطاق مابغية منها .

● الخلاصة :

3.39 : لقد تطوّرت من خلال الدراسة هذه ، المعادلات الخاصة بالإجهاد المحوري لتصبح :

١ - مرتبطة بالعزم حول المحور (x) بالعلاقة :

$$\frac{M_x}{I_x} = \frac{f_{bx}}{y}$$

٢ - ومرتبطة بشكلها العام بالعلاقة التالية : ٣٥

$$f = \frac{P}{A} + \frac{M_x}{I_x} \times y + \frac{M_y}{I_y} \times x$$

3.40 : تعتمد صحة المعادلات هذه على أمور خمسة :

١ - إنّ المحور (x) أو (y) ، أو كليهما هما محوري تناظر .

٢ - يتقاطع المحورين (y , x) ، في نقطة هي مركز مساحة المقطع .

٣ - إنّ أبعاد المقطع تمتد بسيطة ، إذا ماقورت بطول العنصر .

٤ - إنّ مقطع العنصر ، يبقى دوماً مقطعاً مستوياً .

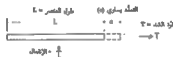
٥ - إنّ مادة المقطع ، مادة متجانسة ومرة .

الفصل الثالث
مفهوم الانتقال وتحليل إجمادات القص



● المقدمة :

1.01 : من الملاحظ استعالة قضيب معدني نحيل ، إن هو تعرّض لقوّة شد . إنّ الحركة هذه ، الناشئة عن قوّة مطبّقة ، تدعى الإنفعال أو التوتر . والإنفعال ، يحدّد بوضوح ، مقدار تمُدّد أو تقلّص وحدة طول المنصر ، أنظر الشكل (١ - ٣) .



الشكل (١ - ٣) : الإنفعال تعريفاً ، هو مسافة تقلّص أو تمُدّد وحدة الطول .

● الإنفعال المرن :

2.01 : يدعى واحد من أشكال الإنفعال ، الإنفعال المرن ، وهو انفعال يمتاز بخاصيتين أساسيتين :

١ - إنّ الإنفعال هذا ، يتماشى مع قانون هوك ، والذي ينص على أنّ نسبة الإجهاد إلى الإنفعال ، يساوي رقماً ثابتاً ، أي :

$$\frac{\text{الإجهاد}}{\text{الإنفعال}} = \text{ثابت}$$

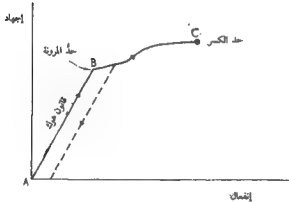
يدعى ثابت النسبة هذه ، بثابت المرونة ، أو عامل يونغ .

٢ - سرعان ملاحظة عودة المنصر إلى حالته الأصلية ، فور إزالة الإجهادات المطبّقة .

2.02 : لا تنصف كافة المواد ، بالإنفعال المرن . ومن تلك المواد ، قوالب الصلصال ، حيث تزداد تشوّهاتها ، ولو ثبتت قيمة الإجهادات المطبّقة ، إضافة إلى أنها لا تستطيع الرجوع ، إلى مكان عليه شكلها ، وإن أزيلت الإجهادات المطبّقة . تدعى التشوّهات الباقية هذه ، بالتشوّهات اللدنة .

- 2.03 : تتصرف معظم مواد الإنشاء ، بإسلوب مشابه لما هو موضح في الشكل (٢ - ٣) . وكما نلاحظ على المخطط ، تتصرف معظم المواد ، في حال تعرضها لإجهادات ذات قيم صغيرة ، وكما نلاحظ على المخطط ، تتصرف معظم المواد ، في حال تعرضها لإجهادات ذات قيم صغيرة ، تصرفات مرنة ، إلى أن تصل إلى حد المرونة ، والممثل هنا بالنقطة (B) . تستمر بعدئذ تشوهات

المادة ، على شكل تشوهات لدنة ، إلى أن تصل التشوهات ، إلى حد الكسر ، وهو الحد الممثل هنا بالنقطة (C) . إذا انخفضت قيمة الإجهادات ، بعد تجاوز التشوهات حد المرونة ، بقيت التشوهات على حالها ، وتعود على المنصر ، العودة إلى شكله الأصلي ، حيث يظهر المنصر ، بشكله المشوه الأخير ، كما هو موضح في الشكل ، بخطوط منقطة .



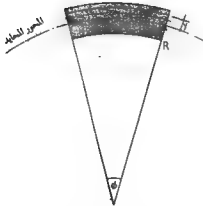
الشكل (٢ - ٣) : يظهر الشكل مخطط يوضح العلاقة ما بين الإنفعال والإجهاد ، حيث تظهر على المخطط هذا ، نقطة حد المرونة والمسالة التي عندئذ يحدّق قاتون هو ك . يشير الخط المنقط ، إلى التشوهات ، التي يمكن أن تحدث ، عند تجاوز الإنفعال حد المرونة ، إذ تبقى هذه التشوهات على حالها ، وإن أزيلت الإجهادات المطبقة .

● إجهادات. وانفعالات العزوم :

- 3.01 : بعد أن تفهمنا ماتمته لفظة الإنفعال ، لابد من الجذر والتريث ، عند محاولة الإقتراب ، لتفهم سلوكية المادة ، عند تلقيها إجهادات العزوم .
- 3.02 : يوضح الشكل (٣ - ٣) ، حالة عنصر إنشائي ، مصنع من مادة مرنة ، عند تعرضه لعزم ما . يفترض بقاء كل مقطع مستو ، كان مستوياً قبل تطبيق العزم ، على حالته المستوية ، بعد تطبيق ذاك العزم . يبعد المقطعان عن بعضهما البعض مسافة (Z) ، ويمصران فيما بينهما زاوية تساوي (Ø) ، رأسها مركز العزم ، فتكون المسافة (Z) تساوي :

$$Z = Ø \times R$$

حيث (R) ، نصف قطر الإنحناء .



الشكل (٣ - ٣) : الإجهاد الناتج من عزم ، حيث يشير للمنقط ، مصراً مرفضاً لعزم .

- 3.03 : لتأمل ليفاً يقع فوق محور العنصر الطولي ، اللار من مركز مساحة المقطع ، والمسمى بمحور التماثل أو المحور المحايد . إن كان هذا الليف ، يعتمد عن المحور المحايد ، مسافة تساوي (y) ، كان طول العنصر أثناء تطبيق العزم مساوياً لـ $(R + y)$ ، وإذا يكون امتداد العنصر مساوياً لـ $(y \times \theta)$ ، وبالتالي كان الإنفعال مساوياً لـ :

$$\frac{\theta \times y}{\theta \times R}$$

أو $\frac{y}{R}$

وتحسب نعلم أنه ، في حال كون العنصر مصبباً من مادة مرنة ، كانت نسبة الإجهاد إلى الإنفعال ، تساوي عدداً ثابتاً ، يسمى عامل يونغ ، إذاً :

$$E = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الإنفعال}}$$

حيث (E) ، هو عامل يونغ ، لمادة العنصر المرنة ،

أنظر الفقرة (2.01) . من العلاقة السابقة ، نجد أن :

$$K_y = \frac{E}{R} \times y$$

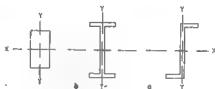
كما افترضنا في الفقرة (3.25) من الفصل الثاني .

● إجهادات القص :

- 4.01 : إن التوصل إلى معادلة دقيقة ، نحسب ونفهم من خلالها إجهادات القص ، تعد مهمة أكثر مشقة ، إذا ماقورنت بطرق استنتاج وحساب الإجهادات المباشرة . لذا كان ماستطرحه هنا ، عبارة عن خطوط عريضة ، تنوحي منها ، الوصول مباشرة إلى النتائج ، دون الصلوقي إلى الأساليب الدقيقة ، لتحليل الإنشائي .

- 4.02 : لنحلل إجهادات القص ، عند كل نقطة من نقاط المقطع ، إلى مركبتها الأفقية والشاقولية ، أنظر الفقرة (3.11) ، من الفصل الثاني . إن مجموع كافة مركبات الإجهادات هذه ، تشكل معاً ، مجمل قوى القص الشاقولية والأفقية ، العاملة في مستوى المقطع ، والرموز لها بالرمزين (S_x, S_y) . وكما الإجهادات المحورية ، يمكننا توضيح أنه إذا كانت تلك القوى ، تمر من نقطة محددة ، كما في بعض التطبيقات الخاصة ، فإن تلك القوى ، لن تسبب قتل أولي العنصر . كذلك نجد هنا ، أنه في حال اعتماد محصلة كافة إجهادات القص ، عن النقطة المحددة هذه ، فإن عزم المحصلة هذه ، حول النقطة هذه ، سيصبح عزم قتل ، وسيعمل على لي العنصر .

4.03 : في حالة قوى القص ، تدعى النقطة المحددة هذه ، مركز القص . وهي ليست متطابقة دوماً ، مع مركز مساحة المقطع ، إذ أنها تتطابق معها ، ليصبحا نقطة واحدة ، فقط في حال كان يوجد للمقطع ، محوري تناظر ، أو كان يوجد له ، محوري تقابل ، أنظر الشكل (٤ - ٣) . إن حالة التباعد الأكثر شيوعاً ، ما بين النقطتين ، هي ما نجدها في المجرة المثلثية ، الموضحة في

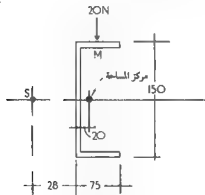


الشكل (٤ - ٣) : ويظهر فيه الحالات التي يمكن فيها أن يتطابق مركز القص ، مع مركز مساحة المقطع .

الشكل (٥ - ٣) . نلاحظ في الشكل ، أن مركز القص ، يقع في النقطة (S) ، وإن الحمولة المطبقة ، هي حولة مركزة ، قيمتها (20 N) ، تتركز في وسط شفة المجرة ، المرموز لها بالحرف (M) ، وهي تسبب على المقطع ، عزم ثقل قيمته (1.31 N.m) ، نستنتج من حساب عزم القوة المركزة ، حول مركز القص . أي :

$$28 \text{ m.m} + \frac{75 \text{ m.m}}{2} \times 20 \text{ N} = 1310 \text{ N.m.m} = 1.31 \text{ N.m}$$

N.m.



الشكل (٥ - ٣) : ويظهر فيه حالة مجرة معدنية ، حيث يتعد فيها مركز القص ، عن مركز مساحة المقطع .

● توزيع إجهاد القص :

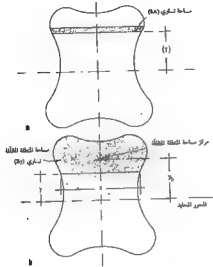
5.01 : يمكننا اشتقاق نظرية ، لإيجاد إجهاد القص الأعظمي ، وتحديد مركزه ، إن كان المقطع متناظراً ، وغير خاضع لقوى أفقي .

5.02 : لتتأمل المقطع الموضح في الشكل (٦ - ٣ - ١) . ولنفترض أن المقطع هذا ، معرضاً لمزم يأخذ حول المحور (x) فقط ، مع قوة لا مباشرة . إن اختيار شكل عشوائي ، سيكشف لنا النظرية أو المبدأ العام ، وذلك قبل الانتقال إلى الحالات الخاصة ، كمحالة المقاطع المشابهة بشكلها لحرف (I) ، أو المقاطع مستطيلة الشكل .

5.03 : لتأخذ شريحة أفقية ضيقة من المقطع ، مساحتها تساوي «8A» . إن الإجهاد المباشر على الشريحة هذه يساوي :

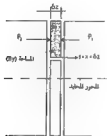
$$f = K \times (y) .$$

حيث تشير (y) ، إلى بعد الشريحة عن المحور المحايد ، وهو المحور الأفقي ، المار من مركز مساحة المقطع ، و«K» هو مقدار ثابت ، أنظر الفقرة (3.25) من الفصل الثاني .



الشكل (٦ - ٣) : يظهر الشكل خطاً يجري من خلاله ، شرح نظرية الإجهاد كما تطورت في الفقرة (5.03) .

5.05 : لتأمل الآن ، شريحة جسر نخيلة ، صياقتها تساوي «82» . لقد جرى توضيح الشريحة هذه ، على الشكل (٧ - ٣) ، حيث لم يظهر الشكل مقطع الجسر ، بل إن ما أظهره ، هو واجهة الجسر .



الشكل (٧ - ٣) : واجهة الجسر الموصوف في الفقرة (5.05) ، أنظر أيضاً الشكل (٦ - ٣) .

5.04 : لتأمل المساحة (B_y) ، في الشكل (٦ - ٣ - ب) . تمتد المساحة هذه ، ابتداء من الخط الذي يبعد عن المحور المحايد مسافة (y) ، إلى أن تصل بحدودها ، إلى أقصى خطوط المقطع العلوية . تعطي القوة الكلية المطبقة على المساحة هذه ، بالملاقة :

$$\sum K \times (y) \times \delta A$$

منتشرة على كامل المساحة ، أو :

$$K \sum (y) \times \delta A$$

تساوي القيمة : $[\sum (y) \times \delta A]$ ، عزم المساحة الأولي للمساحة (B_y) ، حول المحور المحايد ، أو تساوي : $B_y \times y_b$. إذا كانت (y_b) ، هي بعد مركز ثقل المساحة عن المحور المحايد . لهذا نكتب :

$$P = K \times B_y \times y_b$$

ولكن : $[K \times y_b]$ ، هي قيمة الإجهاد عند مركز مساحة المساحة (B_y) ، والتي نستطيع أن ندهوها «e» . لهذا :

$$P = e_b \times B_y$$

- 5.86 : يمكننا إثبات ، بقوانين وملاحظات خارجة

عن نطلق أهداف الموسوعة هذه ، أنه عندما تنتهي قيمة δZ إلى الصفر ، فإن قيمة المقدار : $\frac{M_1 - M_2}{\delta Z}$

ينتهي إلى قيمة تعادل قوة الفص الشاقولي (S_y) ، على

كامل المقطع ، أنظر الشكل (٦ - ٣ - ب) ، لهذا :

$$S = \frac{B_y \times y_b}{I \times x} S_y$$

توب جزء الشريحة في هذا المثال ، متاب المساحة

(B_y) ، المقطعة من المقطع ، والتي تفصل عن مستند الشريحة . بعد فصل الشريحة عن الجسر ، نلاحظ أن الشريحة خاضعة إلى القوة (P) ، التي تعمل على كل وجه من وجهي الشريحة ، كما أنها خاضعة لقوة قص تساوي $= S \times x \times \delta Z$ ، متواجلة عند القاعدة ، وناشئة عن انفصال الشريحة عن مستندها ، تلك القوى الثلاث في حالة توازن ، لذا ينبغي أن تكون حصيلتها أفقياً تساوي الصفر ، أي :

$$P_1 - P_2 = S \times x \times \delta Z$$

إذا :

$$B_y (f_{b1} + f_{b2}) = S \times x \times \delta Z$$

وبما أن :

$$f = \frac{M}{I} \times y$$

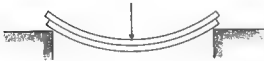
لذا فإن :

$$S \times x \times \delta Z = \frac{y_b \times B_y}{I} (M_1 - M_2)$$

5.07 - من خلال المعادلة السابقة ، يمكننا تحديد قيمة إجهادات القص المحورية في الجسر . هذا ، يمكننا من خلال تجربة بسيطة ، إثبات تواجد مايسمى إجهادات القص المحورية . لنضع لوحين خشبيين ، طولاهما متساويين تماماً ، على مستدين بسيطين ، يفصل بينهما مجاز عريض ، أنظر الشكل (أ - ٣ - ٨) . لنعرض اللوحين ، إلى قوة مركزة ، فنلاحظ ارتفاع اللوحين وتشوّههما ، حال تطبيق الحمولة ، مما يؤدي إلى انزلاق اللوحين عن بعضهما البعض ، أنظر الشكل (أ - ٣ - ب) . إذا سُمّر اللوحين إلى بعضهما البعض ، وطبقنا عليها ذات الحمولة ، للاحظنا انخفاض سهم الهبوط ، وبقاء طرفي اللوحين ، على سوية واحدة ، مما يدعونا إلى القول ، بأنّ اللوحين المتّين معاً ، متعا ظاهرة انزلاق اللوحين عن بعضهما البعض ، وأصبعا أكثر قدرة ، على تحمل الأوزان أو الحمولات المطبقة ، أنظر الشكل (أ - ٣ - ج) .



الشكل (أ - ٣ - ٨): كما يظهر قبل تطبيق الحمولة



الشكل (أ - ٣ - ب): كما يظهر اللوحين المتّين بعد تطبيق الحمولة .



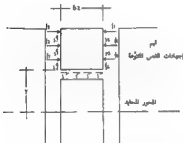
الشكل (أ - ٣ - ج): كما يظهر اللوحين المتّين إلى بعضهما بعد تطبيق الحمولة

الشكل (أ - ٣) : لوحين متّين على مجاز عريض

$$S = \frac{B_y \times y_b}{I \times X} \times S_y$$

$$S = \frac{2125 \times 154.5}{127.1 \times 20} \times 0.003 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^3$$

$$S = 2.58 \text{ N/m.m}^2$$



الشكل (٣-٩): يظهر الشكل خطاً يوضح تأثير القص الشاقولي على الجسر الموضح في الشكل (٣-٧).

5.08 - هناك أيضاً إجهادات قص شاقولية ، تؤثر على وجهي المقطع الجانبيين ، أنظر الشكل (٣-٩) . يمكننا من خلال ما سبقه الفقرة (9.01) ، اعتبار إجهادي القص هذين ، متساويين في القيمة . لذا يمكننا أيضاً ، استخدام المعادلة السابقة ، لإيجاد إجهاد القص الشاقولي ، عند نقطة على المقطع ، كما هو مبين في المثال التالي :

مثال :

لنستخدم المقطع الموضح في الشكل (٢٨-٢) ، ولنوجد إجهاد القص ، عند الوصلة الواقعة ما بين الجزئين هـ و (II) ، عندما تكون قوة القص على المقطع تساوي (20KN) . كأنه الأبعاد المأخوذة ، مأخوذة بالملم :

قوة القمع على المقطع $S_y = 20 \times 10^3$

مساحة الجزء (I) $B_y = 2.125 \times 10^3$

وبالرجوع إلى اللوحة (٢-١) نجد أن :

$$I_x = 127.1 \times 10^6$$

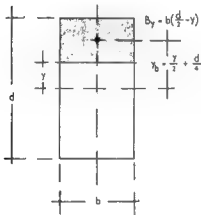
عرض المقطع عند نقطة الحساب $x = z = 20$

لذا يمكننا أن نكتب :

لهذا تكون :

$$S = \frac{12 (d - 2y) (d + 2y) b}{8bd^3 \times b} \times s$$

$$= \left[\frac{3}{2b + d} - \frac{6y^2}{b \times d^3} \right] s$$



● حساب القوس على مقطع مستطيل الشكل :

6.01 : لتنازل المقطع مستطيل الشكل الموضح في

الشكل (١٠ - ٣)، والذي ارتفاعه (d) وعرضه (b) :

$$B_y = \left(\frac{d}{2} - y \right) \times b$$

$$y_b = \frac{y}{2} + \frac{d}{4}$$

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

$$x = b$$

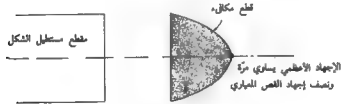
الشكل (١٠ - ٣) : يظهر الشكل إجهاد القوس على مقطع مستطيل الشكل

6.02 : من الملاحظ أنَّ القيمة السابقة ، تتزايد عندما : $y = 0$ ، وهي حالة تتواجد عند المحور المحايد ، وبهذا يمكننا كتابة العلاقة عند المحور المحايد ، بالشكل التالي :

$$s = \frac{3}{2} \times \frac{s}{bd}$$

أو يمكننا القول ، أنَّ إجهاد القص الأعظمي ، في مقطع مستطيل الشكل ، يساوي مرَّة ونصف ، قيمة إجهاد القص المام ، أنظر الشكل (١١-٣) .

6.03 : يوضَّح الشكل (١١-٣) ، التوزيع التقريبي للإجهادات المنتشرة ، في مقطع مستطيل الشكل ، وهي في شكلها التخطيطي « البياني » . إنَّ المخطَّط يظهر أنَّه عندما : $y = \frac{d}{2}$ ، وهي الحالة المقرَّرة عند طرف المقطع ، يكون الإجهاد مساوياً للصفر ، كما هو متوقَّع .

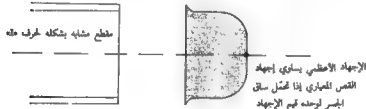


الشكل (١١-٣) : يظهر الشكل إجهاد القص على مقطع مستطيل الشكل .

● حساب إجهاد القص على مقطع شكله مشابه لحرف «ك» :

- 7.01 : إن توزيع إجهادات القص المعاملة ضمن مقطع مشابه بشكله لحرف «ك» ، نراه موضحاً تخطيطياً في الشكل (١٢-٣) . نلاحظ من الخط البياني ، أن إجهادات القص ، تتوزع بالتساوي تقريباً عند قائم

$$s = \frac{S}{bd} = \frac{0000}{250 \times 20} = 0.004 \text{ N/m.m}^2$$



الشكل (١٢ - ٣) : يظهر الشكل إجهاد القص على مقطع مشابه بشكله لحرف «ك» .

● علاقة وصلة الإجهادات ببعضها :

- 8.01 : إن الإجهادات لا تتواجد منفصلة ، بل إن أي شكل من أشكال الإجهاد ، يرتبط ارتباطاً وثيقاً ، بأشكال الإجهادات الأخرى .

* نسبة بواسون :

- 8.02 : إذا ضغطت كتلة من المطاط القاسي ، بقوة ضغط تعملان معاً ، تحولت كتلة المطاط ، إلى ما يشبه البرميل ، أنظر الشكل (١٣ - ٣) . ويشكل مشابه ، يتحول الرباط المطاطي ، إن شدت أطرافه ، إلى رباط

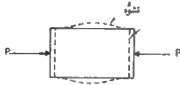
أكثر تحوُّلاً . تصيب الظاهرة الطبيعية هذه ، كافة المواد ، وفق نسبة تسمى نسبة بواسون . فإذا كان الإنفعال في اتجاه المحور (x) يساوي (ϵ_x) ، والإنفعال في اتجاه المحور (y) يساوي (ϵ_y) فإن :

$$\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} = \nu \text{ (sigma)}$$

أو نسبة بواسون .

عند تطبيق قانون هوك ، نلاحظ أيضاً ويشكل مشابه أن

$$\frac{f_y}{f_x} = \nu$$



الشكل (١٣ - ٣) : تأثير انضغاط كتلة مطاطية .

● توازن إجهادات القص :

9.01 : يظهر الشكل (١٤-٣-أ) ، كتلة مادية صغيرة ، مأخوذة من وسط عنصر إنشائي ، طولها (a) ، وعرضها (b) ، وارتفاعها أو سماكتها (c) . يطبق على أحد أطراف الكتلة ، إجهاد قص يساوي (S) ، أو قوة مقدورها : $S \times bc$. إذا حللنا القوى على محور شاقولي ، فلاحظنا أنه لا بد من وجود إجهاد قص آخر ، يقع على الطرف الآخر من الكتلة ، يعمل على منع تحريك الكتلة شاقولياً ، أنظر الشكل (١٤-٣-ب) . إلا أن القوتان معاً ، مستكفلتان مزدوجة لمزمها يساوي $(S \times abc)$.

تبقى الكتلة المادية متوازنة ، لا بد من مزدوجة أخرى ، عزمها يساوي عزم المزدوجة الأولى ، وتحالفها في الاتجاه . لذا لا بد من ملاحظة قوتان مقدار كل منهما (S') ، تتواجد أولاهما ، على سطح الكتلة من الأعلى ، وتؤثر الأخرى ، على قاعدة الكتلة المادية . عند حساب عزم المزدوجة هذه ، نلاحظ أنها تساوي $(S' \times abc)$ ، أنظر الشكل (١٤-٣-ج) . وبما أن عزمي المزدوجتين متساويان ، فإن : $S = S'$. هذا يدعونا إلى القول ، إن إجهاد القص الشاقولي ، يستحث الملقاة دوماً ، على توليد إجهادات قص أفقية ، مساوية لها في القيمة .



الشكل (١٤-٣-ج) : لتوازن الكتلة لابد من وجود مزدوجة على المستوي الأفقي تساوي الأولى وتماسكها في الاتجاه .

الشكل (١٤-٣-ب) : إن القوة الشاقولية المقابلة على الطرف الآخر تمنع الحركة الشاقولية إلا أنها تحدث مزدوجة .

الشكل (١٤-٣-أ) : إجهاد القص على واحد من أطراف الشكل .

الشكل (١٤-٣) : توازن إجهادات القص .

● الإجهاد المباشر يتولد عن إجهاد القص :

- 10.01 . يمكن استخدام المخطط الموضح في الشكل (١٥ - ٣) ، لاكتشاف كيفية توليد إجهاد مباشر ، من إجهاد قص . إنها شريحة مثلثة الشكل ، مقطوعة من الكتلة المادية ، الموضحة في الشكل (١٤ - ٣) . إن طول وتر المثلث القائم هذا يساوي (1) . لنفترض أن الإجهاد المباشر المستحث ، قيمته تساوي (f) ، وإن قيمة إجهاد القص العامل على وتر المثلث يساوي (S) . بتحليل القوى

في الاتجاه (f) نجد أن :

$$f \times 1b = S' \times 1b \times \cos \phi \times \sin \phi + S' \times 1b \times \sin \phi \times \cos \phi$$

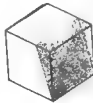
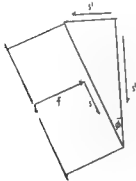
$$f = S' \sin 2 \phi \quad \text{إنذا :}$$

وبتحليل القوى باتجاه (S) نجد أن :

$$S \times 1b = S' \times 1b \times \sin^2 \phi - S' \times 1b \times \cos^2 \phi$$

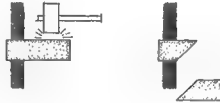
إنذا :

$$S = S' \cos 2 \phi$$



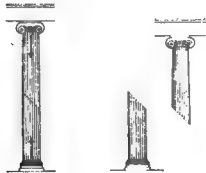
الشكل (١٥ - ٣) : يظهر الشكل كيف يمكن أن يتولد إجهاد مباشر عن إجهاد قص

10.02 - : تنجلي فوائد التمرين هذا ، وتصبح أكثر وضوحاً ، عندما تكون قيمة الزاوية (φ) تساوي (٤٥°) .
عندها تكون قيمة الإجهاد (S) يساوي صفراً ، و : $f = S'$. إنَّ ذلك يعني ، أنَّ إجهاد القص ، قد وُلد إجهاداً مباشراً ، يساويه في القيمة ، عند مستر يصنع مع مستوي القص زاوية قدرها (٤٥°) ، إنَّ ما استخلصناه من التمرين هذا ، هو بالطبع معلومة عامة ، انظر الشكل (١٦ - ٣) .



الشكل (١٦ - ٣) : إجهاد شد للشيء من إجهاد قص . يُولد إجهاد القص ، إجهاداً مباشراً ، يعادله في القيمة ويعمل في مستر زاويته (٤٥°)

10.03 - : إنَّ عكس النظرية السابقة صحيح أيضاً ، إذ أنَّ الإجهاد المباشر ، يستحث المنشأة ، فيتولد عنه إجهاد قص يساويه في القيمة ، عند مستر يصنع مع مستوي القص المباشر زاوية (٤٥°) ، انظر الشكل (١٧ - ٣) .



الشكل (١٧ - ٣) : إجهاد قص ناتج من قوة مباشرة ، عكس الحالة السابقة .

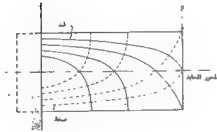
● الإجهادات الرئيسية :

= 11.01 : لقد كان واضحاً لنا ، من خلال الفقرة (10.02) ، أنّ إجهادات القص ، تتعلم في مستوي يصنع مع مستوي القص المباشر زاوية (45°) . وبالمعنى الى النظرية المثبتة في الفقرة (9.01) ، نتابع فنقول ، إنّ إجهادات القص أيضاً معدومة ، على مستوي عمودي على مستوي يصنع مع مستوي القص المباشر زاوية (45°) . تعرف الإجهادات المباشرة الواقعة على المستويين هذين ، بالإجهادات الرئيسية ، حيث يدعى إحدهما ، بالإجهاد المباشر الأعظمي ، ويدعى الآخر بالإجهاد المباشر الأصغري . إنّ اتجاهات الإجهادات هذه تدعى للمحاور الرئيسية ، فإن رسمت ، جداولاً ، على واجهة المنصر ، شكّلت مسارات الإجهاد .

الشكل (١٨ - ٣) : مسارات الإجهاد في جسر مولوث من طرف واحد

● مسارات الإجهاد :


= 12.01 : يوضح الشكل (١٨ - ٣) ، مسارات الإجهاد ، مرسومة على الواجهة الجانبية لجسر مولوث من طرف واحد . تثل الخطوط المستمرة ، على اتجاه إجهادات الشد الرئيسية ، بينما تشير الخطوط المنقطعة ، إلى اتجاه إجهادات الضغط الرئيسية . تتقاطع هذه الخطوط ، كما هو واضح ، وفق زوايا قائمة . إنّ قيم الإجهادات ، على طول الخطوط هذه ، ليست بالضرورة قيم ثابتة .



● خصائص ومعطيات المقاطع الأساسية :






مسترج في هذه الفقرة ، قائمة تتضمن الخصائص الهندسية ، ستة وعشرين مقطعاً ، تحوي القواعد المتبعة لاستخراج المساحة ، لاستخراج بعد الليف النهائي عن

المحور المحايد ، عزم العطالة ، المعامل (Z)، وقيمة نصف قطر الحركة التدويرية .

شكل المقاطع	مساحة المقاطع (A)	بعد ليف المقاطع النهائي عن المحور المحايد (Z)	عزم العطالة حول المحور المحايد (I _x × I _y)	$Z_x = \frac{I_x}{A}$	نصف قطر الحركة التدويرية : $K = \frac{I_x}{A}$
	a^2	$\frac{a}{\sqrt{12}}$	$\frac{a^4}{12}$	$\frac{a^3}{6}$	$\frac{a}{\sqrt{12}} = 0.289 a$
	bd	$\frac{d}{\sqrt{12}}$	$\frac{1}{12} b d^3$	$\frac{1}{6} b d^2$	$\frac{d}{\sqrt{12}} = 0.289 d$
	$a^2 - a_1^2$	$\frac{a}{\sqrt{12}}$	$\frac{a^4 - a_1^4}{12}$	$\frac{a^3 - a_1^3}{6 a_1}$	$\sqrt{\frac{a^4 + a_1^4}{12}}$
	$b d - b_1 d_1$	$\frac{d}{\sqrt{12}}$	$\frac{b d^3 - b_1 d_1^3}{12}$	$\frac{b_1 d_1^3 - b_1 d_1^3}{6 d_1}$	$\sqrt{\frac{b_1 d_1^4 - b_1 d_1^4}{12 (b_1 d_1 - b_1 d_1)}}$

شكل القطع	مساحة القطع (A)	بعد لب القطع الثنائي عن المحور المماس (D)	وزن المسلك حول المحور المماس (Dx)	$Z_x = \frac{I_x}{r_x}$	نصف قطر الحركة التدويرية $K = \frac{I_x}{A}$
	a^2	$\frac{a}{\sqrt{2}} = 0.707 a$	$\frac{a^3}{12}$	$\frac{\sqrt{2}}{12} a^3 = 0.118 a^3$	$\frac{a}{\sqrt{12}} = 0.289 a$
	$\frac{bd}{2}$	$\frac{bd}{\sqrt{b^2 + d^2}}$	$\frac{bd^3}{8(b^2 + d^2)}$	$\frac{bd^3}{8\sqrt{b^2 + d^2}}$	$\frac{bd}{\sqrt{3(b^2 + d^2)}}$
	$\frac{bd}{2}$	$\frac{b \sin \phi + d \cos \phi}{2}$	$\frac{b d^3}{12} \left(d^3 \cos^3 \phi + b^3 \sin^3 \phi \right)$	$\frac{bd}{8} \frac{(d^3 \cos^3 \phi + b^3 \sin^3 \phi)}{(d \cos \phi + b \sin \phi)}$	$\sqrt{\frac{d^3 \cos^3 \phi + b^3 \sin^3 \phi}{15}}$
	$\frac{2\sqrt{3}}{3} a^2$ $= 1.500 a^2$	a	$\frac{2\sqrt{3}}{16} a^4 = 0.1413 a^4$	$\frac{2\sqrt{3}}{16} a^3$	$a \sqrt{\frac{2}{24}}$
	$\frac{2\sqrt{3}}{3} a^2$ $= 1.500 a^2$	$a \frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{4\sqrt{3}}{16} a^4 = 0.1413 a^4$	$\frac{4}{8} a^3$	$a \sqrt{\frac{8}{24}}$
	$\frac{\pi d^2}{4} \approx 0.7854 d^2$	$\frac{d}{2}$	$\frac{\pi}{8} (4\sqrt{3} - 8) d^4$ $= 0.0785 d^4$	$\frac{\pi}{8} (4\sqrt{3} - 8) d^3$ $= 1.7818 d^3$	$\frac{4\sqrt{3}-8}{8} d$ $= 0.289 d$

شكل المقطع	مساحة المقطع (A)	بعد لب المقطع البشري (د) عن المحور للمحيد	مركز العطالة حول المحور للمحيد (X × Y)	$Z_y = \frac{I_y}{y_1}$	نصف قطر العطالة المعروف: $K = \frac{I_y}{A}$
	$\frac{\sqrt{3}}{4} b^2$	$\frac{d}{3}$	$\frac{b^4 d^3}{36}$	$\frac{b^4 d^3}{36}$	$\frac{d}{\sqrt{3}} = 0.577 d$
	$\frac{a+b}{2} d$	$\frac{a+2b}{a+b} \frac{d}{3}$	$\frac{d^3 + 4ab + b^3}{36(a+b)} d^3$	$\frac{d^3 + 4ab + b^3}{36(a+b)} d^3$	$d \sqrt{\frac{a^3 + 4ab + b^3}{36(a+b)^3}}$
	$\frac{\pi d^2}{4}$ $= 0.7854 d^2$	$\frac{d}{2}$	$\frac{\pi d^4}{64} = 0.0491 d^4$	$\frac{\pi d^4}{32} = 0.0982 d^4$	$\frac{d}{2}$
	$\frac{\pi}{4} (d_1^2 - d_2^2)$	$\frac{d}{2}$	$\frac{\pi}{64} (d_1^4 - d_2^4)$	$\frac{\pi (d_1^4 - d_2^4)}{32 d}$	$\frac{\sqrt{d_1^4 + d_2^4}}{4}$
	$\frac{\pi d^2}{8}$ $= 0.3927 d^2$	$\frac{3d}{8} = 0.375 d$	$\frac{\pi (d^4 - 64)}{1152} d^4$ $= 0.007 d^4$	$\frac{\pi (d^4 - 64)}{1152 (3d - 4)}$ $= 0.034 d^3$	$\frac{\sqrt{9d^4 - 64d}}{12d}$ $= 0.123 d$

شكل القطع	مساحة المقطع (A)	بعد لبث المقطع الذاتي (r) من المحور المحايد	مركز العطالة حول المحور المحايد (x, y)	$x_c = \frac{I_x}{r_x}$	نصف قطر العطالة التدويرية : $K = \frac{I_x}{A}$
	$\frac{\pi b d^3}{4}$ $= 0.7854 b d^3$	$\frac{d}{2}$	$\frac{\pi b d^4}{64} = 0.0981 b d^4$	$\frac{\pi b d^4}{32} = 0.0982 b d^4$	$\frac{d}{4}$
	$\frac{\pi}{4} (b d - b_2 d_2)$	$\frac{d}{2}$	$\frac{\pi}{64} (b d^3 - b_2 d_2^3)$	$\frac{\pi b d^4 - b_2 d_2^4}{32 d}$	$\frac{1}{4} \sqrt{\frac{b d^3 - b_2 d_2^3}{b d - b_2 d_2}}$
	$(b d - b_2 d_2)$	$\frac{d}{2}$	$\frac{1}{32} (b d^3 - b_2 d_2^3)$	$\frac{b d^4 - b_2 d_2^4}{32 d}$	$\frac{1}{4} \sqrt{\frac{b d^3 - b_2 d_2^3}{12 (b d - b_2 d_2)}}$
	$(b d - b_2 d_2)$	$\frac{d}{2}$	$\frac{1}{32} (b d^3 - b_2 d_2^3)$	$\frac{b d^4 - b_2 d_2^4}{32 d}$	$\frac{1}{4} \sqrt{\frac{b d^3 - b_2 d_2^3}{12 (b d - b_2 d_2)}}$
	$(b d - b_2 d_2)$	$\frac{d}{2}$	$\frac{1}{32} (b d^3 - b_2 d_2^3)$	$\frac{b d^4 - b_2 d_2^4}{32 d}$	$\frac{1}{4} \sqrt{\frac{b d^3 - b_2 d_2^3}{12 (b d - b_2 d_2)}}$

شكل المقطع	مساحة المقطع (A)	بعد ثقل المقطع النهائي (Y) من المحور للمعاد	عزم العطالة حول المحور للمعاد (X × X)	$Z_x = \frac{I_x}{Y}$	نصف قطر الحركة التدويري: $K = \frac{I_x}{A}$
	$(bd - b_1d_1)$	$\frac{bd^3 - 3b_1d_1d + b_1d_1^3}{3(bd - b_1d_1)}$	$\frac{(bd^3 - b_1d_1^3)^2 - 4bd b_1d_1(d - d_1)^2}{12(bd - b_1d_1)}$	$\frac{(bd^3 - b_1d_1^3)^2 - 4bd b_1d_1(d - d_1)^2}{6(bd^3 - 2bd d_1 + b_1d_1^3)}$	—
	$(bd - b_1d_1)$	$\frac{bd^3 - 3b_1d_1d + b_1d_1^3}{3(bd - b_1d_1)}$	$\frac{(bd^3 - b_1d_1^3)^2 - 4bd b_1d_1(d - d_1)^2}{12(bd - b_1d_1)}$	$\frac{(bd^3 - b_1d_1^3)^2 - 4bd b_1d_1(d - d_1)^2}{6(bd^3 - 2bd d_1 + b_1d_1^3)}$	—
	$(bd - b_1d_1)$	$\frac{bd^3 - 3b_1d_1d + b_1d_1^3}{3(bd - b_1d_1)}$	$\frac{(bd^3 - b_1d_1^3)^2 - 4bd b_1d_1(d - d_1)^2}{12(bd - b_1d_1)}$	$\frac{(bd^3 - b_1d_1^3)^2 - 4bd b_1d_1(d - d_1)^2}{6(bd^3 - 2bd d_1 + b_1d_1^3)}$	—
	$(bd_1 + b_1d)$	$\frac{d}{2}$	$\frac{1}{12}(b d_1^3 + b_1 d^3)$	$\frac{b_1 d^3 + b d_1^3}{6d}$	$\sqrt{\frac{b d_1^3 + b_1 d^3}{12(b d_1 + b_1 d)}}$
	$(bd_1 + b_1d)$	$\frac{d}{2}$	$\frac{1}{12}(b d_1^3 + b_1 d^3)$	$\frac{b_1 d^3 + b d_1^3}{6d}$	$\sqrt{\frac{b d_1^3 + b_1 d^3}{12(b d_1 + b_1 d)}}$
	$(bd_1 + b_1d)$	$\frac{d}{2}$	$\frac{1}{12}(b d_1^3 + b_1 d^3)$	$\frac{b_1 d^3 + b d_1^3}{6d}$	$\sqrt{\frac{b d_1^3 + b_1 d^3}{12(b d_1 + b_1 d)}}$

